وزارة الدولة للبحث العلمي

المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية
حلــــوان

الجيــــوديســــــــيا

(النشأة - التطور - المنهج - التطبيق)

أ. د. علي عبد العظيم تعيلب
المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية
حلوان - القاهرة

١٩٩٨



المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
مقدمـــــة	١
تاريخ وتطور علم الجيوديسيا	٢
١) الفترة الأولى (البدايه الموثقه لعلم الجيوديسيا)	٢
٢) الفترة الثانيه (البداية العلميه لعلم الجيوديسيا)	٥
٣) الفترة الثالثة (الجيوديسيا وتطور صناعة الخرائط)	٩
٤) الفترة الرابعة(الجيوديسيا فى العصر الحديث)	١٠
علاقة الجيوديسيا بفروع العلم المختلفة	١٣
١) تطبيقات علم الجيوديسيا	١٣
أ) رسم وإنشاء الخرائط	١٣
ب) التخطيط العمرانى	١٣
ج) المشروعات الهندسية	١٣
د) تعيين الحدود	١٤
هـ) علوم البيئة	١٤
و) التخطيط البينى والسكانى	١٤
ز) الجغرافيا	١٤
ح) دراسة الكواكب	١٤
ط) دراسة الغلاف المائى	١٤
٢) العلاقة المتبادلة بين الجيوديسيا وفروع العلم المختلفة	١٥
أ) الجيوفيزياء	١٥
ب) علوم الفضاء	١٥
ج) علم الفلك	١٧
د) علوم البحار والمحيطات	١٧
هـ) دراسة الغلاف الجوى	١٧
و) علم الجيولوجيا	١٨
٣) الأسس النظرية لعلم الجيوديسيا	١٨
أ) الرياضيات	١٨
ب) علوم الحاسب الآلى	١٨
ج) الفيزياء	١٨

الموضوع	رقم الصفحة
منهج علم الجيوديسيا	١٩
- تعيين الإحداثيات	١٩
- جاذبية الأرض	١٩
- تغيير الإحداثيات وتغيير مجال جاذبية الأرض مع الزمن	١٩
علم الجيوديسيا والظواهر الأرضية	٢١
١- حركة الأرض	٢١
- الحركة السنويه للأرض(دوران الأرض حـــول الشـــمس)	٢١
- الحركة اليوميه للأرض(دوران الأرض حول محورها)	٢٢
٢- مجال جاذبية الأرض	٢٢
- جهد جاذبية الارض	٢٤
- الجيوئيد	٢٥
- الإلبسويد	٢٧
- الإنحراف عن العمودى	٢٧
٣- شكل (هينة) وأبعاد الأرض	٢٧
- الشكل الحقيقى للأرض	٢٧
٤- تشوهات الأرض مع الزمن	٢٩
- ظاهرة المد والجذر	٢٩
- التشوهات الناتجه عن حمل القشرة الأرضية	٣٠
- التشوهات التكتونيه	٣٠
- التشوهات الناتجه عن الأنشطه البشريه	٣٥
تعيين الإحداثيات	٣٨
١- تعيين إحداثيات نقطة	٣٨
أنظمة الإحداثيات المرجعيه	٣٨
أ) الإحداثيات (الطبيعيه) الفلكيه	٣٨
ب) الإحداثيات الجيوديسيه	٣٨
ج) الإحداثيات المتعامده (الكارتيزيه)	٣٩

الموضوع	رقم الصفحة
٢- تعيين الإحداثيات النسبيه	٣٩
أ) تعيين الإحداثيات النسبيه فى ثلاث أبعاد	٣٩
- إستخدام طرق القياسات الجيوديسيه الأرضيه	٣٩
- إستخدام طرق القياسات الجيوديسيه الفضائيه	٣٩
ب) تعيين الإحداثيات النسبيه فى بعدين أفقيين	٣٩
ج) تعيين الإحداثيات الرأسيه النسبيه	٣٩
- القياسات الجيوديسيه الرأسيه (الميزانيه)	٤٠
٣- الشبكات الجيوديسيه	٤٠
أ) الشبكات الجيوديسيه ثلاثية الأبعاد	٤٠
- الشبكات الجيوديسيه الأرضيه	٤٠
- شبكات التصوير الجوى	٤١
- الشبكات الجيوديسيه الفضائيه	٤١
ب) الشبكات الجيوديسيه الأفقيه	٤١
- المستوى الجيوديسى الأفقى	٤١
ج) الشبكات الجيوديسيه الرأسيه	٤١
- المستوى الجيوديسى الرأسى	٤٢
أجهزة القياسات الجيوديسيه	**٤٤**
١) أجهزة القياسات الجيوديسيه الأرضيه	٤٤
أ) أجهزة القياسات الجيوديسيه الرأسيه	٤٤
- موازين المساحه	٤٤
- ميزان المساحه البصرى	٤٤
- ميزان المساحه الأوتوماتيكى	٤٥
- قامات الميزانيه المدرجه	٤٥
ب) أجهزة القياسات الجيوديسيه الأفقيه	٤٥
- أجهزة التيودوليت	٤٥
- الأجهزة الألكترونيه لقياس المسافات	٤٧

الموضوع	رقم الصفحة

٢) أجهزة القياسات الجيوديسية الفضائيه ٥٠
- أجهزة بث واستقبال الموجات الكهرومغناطيسيه
(أشعة الليزر) إلى ومن الأقمار الصناعيه ٥٠
- أجهزة إستقبال الموجات الراديويه المنبعثه
من الفضاء السحيق ٥٠
- اجهزة النظام العالمى لتقييم الإحداثيات (GPS) ٥٣
أ) وحدات الفضاء والأقمار الصناعيه ٥٣
ب) الوحدات الأرضيه (وحدات المراقبه) ٥٣
ج) وحدات الإستخدام (أجهزة الإستقبال) ٥٦

طرق القياسات الجيوديسية ٥٧
١) القياسات الجيوديسية الرأسية (الميزانية) ٥٧
- الميزانية الدقيقة ٥٩
- مصادر الخطأ فى قياسات الميزانية الدقيقة ٥٩
- استخدام اجهزة GPS فى قياس الارتفاعات ٦٢
٢) القياسات الجيوديسية الأفقية ٦٢
- استخدام اجهزة GPS فى القياسات الجيوديسية الأفقية ٦٦

تطبيقات علم الجيوديسيا ٦٨
١) انشـاء الخرائـط ٦٨
أ) الخرائط العامة ٦٨
- الخرائط الطوبوغرافية ٦٨
- الخرائط الجغرافيـة ٦٩
- الخرائـط المجسمـة ٦٩
ب) الخرائط الخاصة ٦٩
- الخرائط السياحية ٦٩
- خرائط المواصلات الأرضية ٦٩
- خرائط الملاحة البحرية ٦٩
- خرائط الملاحة الجوية ٦٩
- خرائط احصائية ٦٩
- الخرائط العلمية ٦٩

الموضوع	رقم الصفحة
٢) الملاحة	٧٠
٣) مراقبة تحركات القشرة الأرضية	٧٠
أ) انشاء نقاط الشبكات الجيوديسية	٧٢
– البيانات الجيولوجية	٧٣
– البيانات الطوبوغرافية	٧٣
– البيانات الجيوديسية	٧٣
– البيانات الصخرية	٧٣
ب) اجراء القياسات الجيوديسية	٧٤
ج) تحليل بيانات القياسات الجيوديسية المتكررة	٧٩
– التحليل الجيوديسى	٧٩
– تحليل تحركات القشرة الأرضية	٧٩
– تحليل بيانات القياسات الرأسية	٧٩
– تحليل بيانات القياسات الأفقية	٨٢



الجيوديسيـــــــــا

(النشأه – التطور – المنهج – التطبيق)

أ.د. على عبد العظيم تعيلب
المعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية
حلوان – القاهرة

مقدمـــــه :

الجيوديسيا أو علم مقاييس الأرض هى أحد فـروع العلم التـى تبحـث شـكل الأرض وهيئتهـا وحجمها وتعيين المواقع (الإحداثيات) عليها ودراسة مجال جاذبيتها والتعرف على تغير هذه العناصر مع الزمن.

نشأ علم الجيوديسيا مع بـدء الحضـارات الأنسـانيه علـى سـطح الأرض .. وهنـاك الكثـير مـن الآثار التى تركها الأقدمون مثل الأهرامات المصريه والمعابد القديمه فى عـدد مـن منـاطق العـالم والتـى تشير إلى معرفة الحضارات المصريه والسوماريه والصينيه والهنديه بأساسيات علم الجيوديسيا وإجـراء بعض القياسات الدقيقه.

وقد بدأ علم الجيوديسيا وتقدم يدا بيد مع علم الفلك . حيث كانت الأرصـادالفلكيه للشمس والقمـر والنجوم هى الوسيله الوحيده للتعرف على هيئة الأرض . كما يعتبر علمى الفلك والجيوديسـيا دون شـك من أقدم العلوم والمعارف الأنسانيه على الإطلاق.

وقد إرتبط تطور علم الجيوديسيا بفروع اخرى من العلم كالرياضيات والفيزياء وعلوم الحاسب الآلى ، كما يرتبط إرتباطا وثيقا بالعديد من فروع العلم الأخرى فى عطاء متبادل. وينقسم تاريخ تطور علـم الجيوديسـيا إلـى فـترات متباينـه .. تمثـل كـل فـتره منهـا مرحلـة متميـزه مـن مراحـل تطـور علـم الجيوديسيا فى المنهج والتطبيق.

ولعلم الجيوديسيا تطبيقات عديده تخدم الكثير من فروع العلم والمعرفه.. بدأت فى التطـور مـع بدء إطلاق مركبات الفضاء ، وتسارع تطورها بدرجة كبيره مع تطور علوم الفضاء. وسوف يعـرض هذا الكتيب بالتبسيط لتاريخ تطور علم الجيوديسيا وعلاقته بفـروع العلـم المختلفـه وأساسـياته بالاضافـه إلى بعض التطبيقات المتميزه لعلم الجيوديسيا.

تاريخ وتطور علم الجيوديسيا

ينقسم تاريخ تطور علم الجيوديسيا المعروف لنا ، عدا الآثار التى قدمتها الحضارات القديمه والتى تدل على معرفه ودرايه بأساسيات علم الجيوديسيا ، إلى أربعة أطوار متباينه .. كل منها يمثل فترة تاريخية قائمة بذاتها فى تطور علم الجيوديسيا.. وهى كالتالى:

١) الفترة الأولى: (البدايه الموثقه لعلم الجيوديسيا) :

ترتبط هذه الفتره إرتباطاً وثيقاً بعلوم الفلاسفه وإفتراضاتهم وبداية علم المشاهدة والرصد . وتزامن تطور علم الجيوديسيا مع علم الفلك وإرتبطا معاً فى تطورهما إرتباطاً وثيقاً.

ترجع أولى الوثائق الجيوديسيه المعروفه إلى الفيلسوف اليونانى طاليس **Thales** (٦٢٥ – ٥٢٤ ق م) ، حيث يعتبر طاليس مؤسس علم المثلثات. وقد تصور طاليس الأرض كقرص دائرى الشكل يطفو على ماء محيط لا نهائى . وفيما بعد خالفه تلميذه الفيلسوف أنا كسمندر **Anaximnder** (٦١١ – ٥٤٥ ق م) الرأى فاعتقد أن الأرض إسطوانية الشكل يأخذ محورها الأتجاه شرق – غرب ، وتطفو هذه الأسطوانه على ماء محيط نهائى مطوق فى الفضاء بهواء مضغوط .

كانت مدرسة الرياضى والفيلسوف اليونانى فيثا غورث **Pythagoras** (٥٨٠ – ٥٠٠ ق م) أول من إعتقد فى كروية الأرض كما عارض رأى الفلاسفه عن مركزية الكون حول النار وإفترض عدم مركزية الكون . وفى نهاية القرن السادس قبل الميلاد وضع هيكاتيوس **Hecataeus** الى الخريطة المعروفه للعالم (شكل رقم ١) . وتوضح هذه الخريطه المعلومات الضحله والمحدوده لقدماء الفلاسفه اليونانيين عن العالم على الرغم مما هو معروف عن إبحار الملاح القرطاجى الفينيقى هانو **Hanno** (ولد ٥٣٠ ق م) حول الساحل الأفريقى الغربى .

ومع بداية القرن الخامس قبل الميلاد بدأ علم الفلك ، الذى إعتمد فيما سبق على الآراء الفلسفيه دون المشاهده والرصد ، فى التطور. حيث أدرك الفيلسوف اليونانى اناكسجوراس **Anaxagoras**(٥٠٠ – ٤٢٨ ق م) كروية القمر. وفسر الحركه اليوميه للارض كما فسر الحركه اليوميه للقمر.

وفى القرن الرابع قبل الميلاد أعد الفيلسوف اليونانى أيودوكسوس **Eudoxus** (٤٠٨ – ٣٥٥ ق م) أول خريطه للنجوم كما حدد طول السنه الشمسيه بدقه (٣٦٥ر٢٥ يوماً) وإحتمال نقله لهذا الرقم عن قدماء المصريين قائم لعدم دراية اليونانيين به من قبل . كما إفترض الفيلسوف اليونانى هيراقليدس

Heracleides (٣٨٨ - ٣١٥ ق م) دوران الأرض وعدد آخر من الكواكب (المريخ - الزهره) حول الشمس وأيضا إعتقد بدوران الأرض حول محورها.

ترجع أول صياغه مقبولة الحجه عن كروية الأرض للفيلسوف اليونانى أرسطو Aristotle (٣٨٤ - ٣٢٢ ق م) ، كما كانت أول إشارة عن جاذبية الأرض أيضا. وإعتقد الملاح والفلكى اليونانى بيثياس Pytheas ، (ولد ٣٤٠ ق م) أن الاجرام السماويه هى المسببه للمد والجذر البحرى على الرغم من انه لم يكن لديه المعرفه التى تساعد فى الربط بين المد والجذر وقوى الجاذبيه.

ومع مزيد من تقبل الرأى المنادى بكروية الأرض تم الأخذ بنظام الإحداثيات الكرويه (الزاويه) الذى أدخله ديكارخوس Dicaearchus (مات ٢٨٥ ق م) فى نهاية القرن الثالث قبل الميلاد . أيضا قام ديكارخوس بتطوير وإعداد خريطه للعالم تشمل معلومات عن جنوب آسيا بالاستعانه بما وصله من بيانات عن حملات الاسكندر الأكبر Alexander the Great الحربيه . كما تمكن بيثياس Pytheas لأول مرة ، من تعيين خط عرض نسبى لمرسيليا .

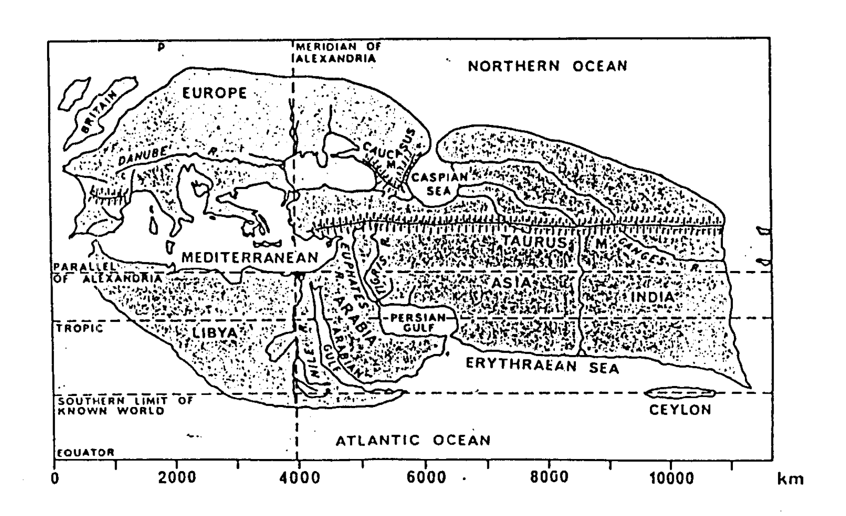
بدأ مزيد من التطور لعلم الفلك على يد أريسطارشوس Aristarchus (٣١٠ - ٢٥٠ ق م) بمحاولاته لتعيين الأبعاد والمسافات للشمس والقمر. تلاه لاحقا بحوالى نصف قرن فيما بعد الرياضى والفلكى اليونانى إيراتوشينيز Eratosthenes (٢٧٦ - ١٩٤ ق م) بملاحظاته عن ميل وإنحراف محور دوران الأرض . وكان الفلكى اليونانى هيبارخوس Hipparchus (٢٧٦ -١٩٤ ق م) أول من وضع خريطه دقيقه للنجوم باستخدام نظام الاحداثيات الزاوية.

أضاف إيراتوشينيز Eratosthenes الكثير لعلم الجيوديسيا ، لذا فإنه يعتبر المؤسس الفعلى لعلم الجيوديسيا . ويرجع الفضل إليه فى تحديد موقع مكتبة متحف الاسكندريه الشهيره . كما أن تعيينه لمحيط الأرض التى إعتقد بكرويتها ، من خلال قياسه الشهير لفرق إحداثى خطى العرض بين الاسكندريه وأسوان من النتائج التى يمكن مقارنتها مع النتائج الحديثه . وقد حاول بوسيدونيوس Poseidonius (١٣٥ - ٥٠ ق م) إعادة نفس القياسات التى أجراها إيراتوشينيز فيما بين الاسكندريه وأسوان واضعاً فى إعتباره تأثير الانكسار الحرارى ، إلا أن النتائج حادت كثيراً عن نتائج إيراتوشينيز . أيضا إعتقد إيراتوشينيز فى وجود محيط واحد متصل يحيط باليابسه ، وقد أوضح رؤيته فى الخريطه بالشكل رقم (٢).

ومع أفول الحضارة اليونانيه إنتهى عصر الفلاسفه والمفكرين والمجربين بالنسبه لعلوم الفلك والجيوديسيا . تلاها بعض الاضافات الهامه بواسطة الرياضى والفلكى اليونانى بطليموس Ptolemy (٧٥- ١٥١) . نشر بطليموس مصنفا بارزا يعتبر إضافه لعلوم الفلك والجيوديسيا وتطورهما



شكل رقم (١) : خريطة العالم (هيكاتيوس) .



شكل رقم (٢) : خريطة العالم (إيراتوشينيز) .

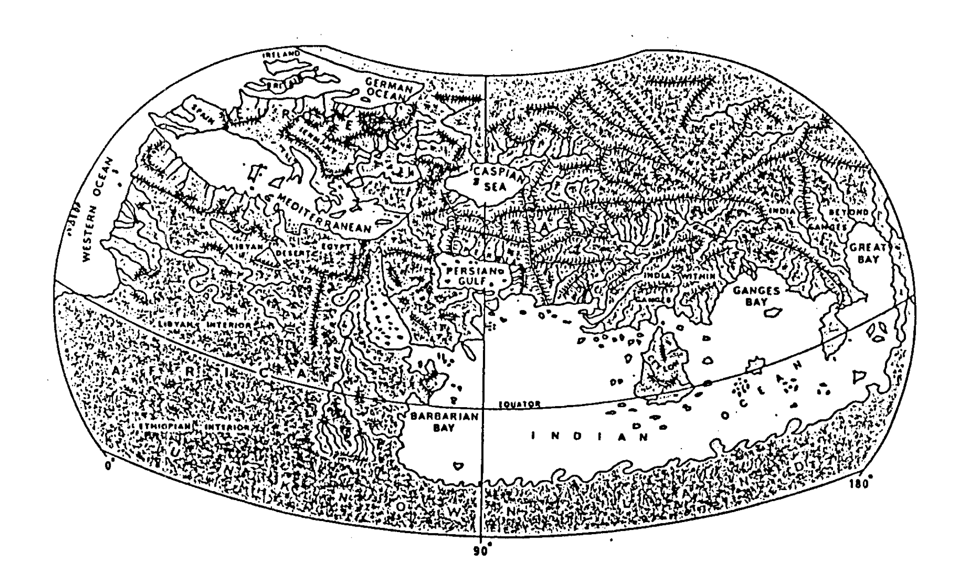
بالاسكندريه ويعرف هذا المصنف باسمه العربى الماجسط Almagest . أيضا أنشأ بطليموس خريطه جديدة للعالم (شكل رقم ٣) ، إلا أن هذه الخريطه لم تضف كثيراً لخريطة إيراتوشينيز التى سبقتها بحوالى ٣٠٠ سنه.

٢) الفترة الثانيه : (البدايه العلمية لعلم الجيوديسيا) :

تتميز هذه الفتره بمزيد من التجريب والمشاهدة .. وإستمرار الارتباط الوثيق مع علوم الفلك، وبذلك تخلصت علوم الفلك والجيوديسيا من تأثير الفلاسفه . ولم يتحقق ذلك دفعه واحده ، حيث أنه وبعد إنتهاء الحضارة اليونانيه وسقوط الامبراطورية الرومانيه ، خلال العصور الوسطى ، إتخذت الجيوديسيا كسائر علوم هذا العصر منعطفاً جديداً أدى إلى مزيد من الارتباط بالعلوم الفلسفيه الرافضه لكل جديد . ولولا أن حافظت الحضارة العربية ، خلال عصور الظلام الأوروبيه ، على العلوم اليونانيه بنقلها إلى العربيه والاضافه اليها وتطويرها ، حتى وجدت طريقها إلى أوروبا من أسبانيا خلال القرن الثانى عشر بعد الميلاد ، وترجمتها إلى اللاتينيه ثم إلى اللغات الأوروبيه المختلفه ، لزاد إرتباط العلم بالفلسفه .. وتراجعت العلوم المختلفه وزاد الظلام . وليس أدل على ذلك إلا الاعتقاد السائد ، أثناءعصور الظلام الأوروبيه الوسطى أن الأرض اليابسه يحيطها غلاف مائى تتصل مياهه بأربعه أنهار منبعها هو الجنه.

وقد بدأ بصيص الضوء فى التقدم العلمى ، خلال عصور الظلام الأوروبية ، من خلال ما أضافته الحضارة العربية للعلوم ومنها علم الجيوديسيا . وعن علم الجيوديسيا نخص بالذكر أعمال عالم الرياضيات العربى الخوارزمى El-Khwarizmi (٧٨٠ – ٨٥٠ م) ، مؤسس علم الجبر ' "Algebra والذى أشتق من إسمه كلمة "' Algorithm والتى تعنى " نظام العد العشرى " كما أدخل لأول مرة الاعداد 9, 0 ,....... , 1,2 إلى الرياضيات العربيه. أعاد الخوارزمى تعيين محيط الأرض كما قام بانشاء خريطه جديدة للعالم . أيضا تمكن الفلكى العربى الباتيجنى Albategnius (٨٢٥ – ٩٢٩ م) من معرفة طول السنه الشمسيه بدقة عاليه تفوق ماتم تحديده لها بعد تسعة قرون تاليه .

بدأت دفعه جديده من التطور فى علوم الجيوديسيا فى نهاية القرن الخامس عشر مع بدء الرحلات الاستكشافيه التى قام بها الملاح الايطالى كرستوفر كولومبس Christopher Columbus (١٤٥١ – ١٥٠٦ م) عبر الأطلنطى (١٤٩٢ م) ودوران الملاح والمستكشف البرتغالى فاسكوداجاما Vasco da Gama (١٤٦٩ ، ١٥٢٤ م) حول إفريقيا (١٤٩٧ – ١٤٩٨ م) وأيضا طواف الملاح البرتغالى ماجلان Magellan (١٤٨٠ – ١٥٢١ م) حول العالم فيما بين أعوام ١٥١٩ و ١٥٢٢م. وقد أدت المعلومات الجغرافيه الجديده إلى ظهور حرفه جديدة تهتم بصناعة الخرائط والتى تعتبر منتجاً لعلم الجيوديسيا .



شكل رقم (٣) : خريطة العالم (بطليموس) .

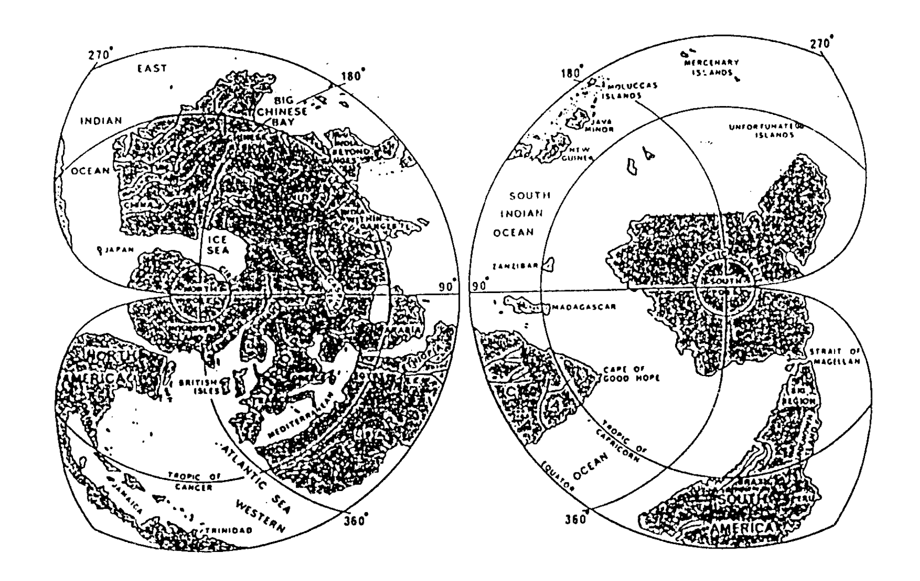
ونظراً لبدء حرفة صناعة الخرائط ، سنخص بالذكر عدد من مشاهير صناعة وتطوير الخرائط . ويعتبر أمريكوفيسبوتشى **Amerigo Vespucci** (١٤٥١ - ١٥١٢ م) أول من أصدر خريطه للشمال الامريكى والساحل الباسفيكى . أما اشهر صناع الخرائط ، والذى يعتبر منشأ صناعة "رسم الخرائط " الحديثه فهو الجغرافى وصانع الخرائط مركاتور **Mercator** (١٥١٢ - ١٥٩٤ م). ويعتبر مركاتور أول من إبتكر طريقه إسقاط الإحداثيات على الخرائط والتى سميت الأسقاط المركاتورى نسبة إليه ، كما أنشأ مركاتور بنجاح خريطه جديدة للعالم (شكل رقم ٤) .

أيضاً وإعتباراً من منتصف القرن الخامس عشر بدأت نهضة علم الجيوديسيا متمثله فى كتابات عدد من المفكرين عن الحركة اليوميه للارض ولانهائية الكون ، وما نشره عالم الفلك البولندى كوبرنيكوس **Copernicus** (١٤٧٣ - ١٥٤٣ م) عن الكون ودوران الأرض وسائر الكواكب حول الشمس ودوران الكواكب حول نفسها .

أدى تصميم عالم الفلك الايطالى جاليليو **Galileo** (١٥٦٤ - ١٦٤٢ م) للمنظار المكبر (التليسكوب) إلى تطور طرق التجريب والمشاهده ، كما إستخدمت نظريات جديده فى مجال الفلك وضعها العالم الفلكى الالمانى كبلر **Kepler** (١٥٧١ - ١٦٣٠ م) . وقد أدت هذه القوانين بدورها إلى ظهور آراء جديده فى مجال الجيوديسيا ، تعتبر بداية حقيقيه ومدخلا لعلم الجاذبية على الرغم من أن قوانين نيوتن **Newton** عن قوى الجذب لم تكن قد عرفت بعد .

وفى مجال القياسات الجيوديسيه تمكن الهولندى سنل **Snell** (١٥٩١ - ١٦٢٦ م) من إجراء أول قياسات جيوديسيه دقيقه للمثلثات (**Triangulation**) إستخدم فيها الزوايا والمسافات (حساب المثلثات) كما أجرى أول قياسات لدراسة الأنكسار الحرارى . كما تمكن الفلكى الفرنسى بيكارد **Picard** (١٦٢٠ - ١٦٨٢ م) عام ١٦٧٠ م من إجراء أول قياس حديث لمحيط الأرض . وتعتبر قيمة نصف قطر الأرض التى حصل عليها بيكارد (٦٢٧٥ كم) هى أول تأكيد للنتائج التى حصل عليها إيراتوشينيز منذ تسعة عشر قرنا مضت .

وتعتبر قوانين الرياضى الانجليزى **Newton** (١٦٤٢ - ١٧٢٧ م) عن الجاذبيه الكونيه من أهم التطورات العلمية فى مجال الجيوديسيا فى نهاية القرن السابع (١٦٨٧ م) . وقد أدى تفهم وإستيعاب قوانين الجاذبية إلى ظهور إكتشافين تاليين ، الأول منها هو تمكن الفيزيائى والفلكى الهولندى هايجنز **Huggens** (١٦٢٩ - ١٦٩٥ م) من تصميم أول آداه دقيقه للتعيين الدقيق للزمن تعتمد على البندول (المحدار) ، والثانى هو إكتشاف الانجليزى برادلى**Bradley** (١٦٩٣ - ١٧٦٢ م) لترنح محور دوران الأرض تحت تأثير جذب كل من الشمس والقمر.



شكل رقم (٤) : خريطة العالم (مركاتور) .

ولم يتحقق القبول لنظرية نيوتن عن الجاذبية بين اليوم والليله ، إنما إستغرق ذلك ردحا من الزمن . فعلى سبيل المثال أثبتت القياسات التى أجريت عند خط الاستواء والقطب الشمالى من خلال رحلتى عمل لقياس قوس خط الطول وفروق خطوط العرض صحة نظرية نيوتن . وقد تمكن الفرنسى كلاروا Clairaut (١٧١٣ - ١٧٦٥ م) من خلال مشاركته لأحد رحلات القياس من إستحداث علاقه بسيطه بين تغير مجال الجاذبية وبين خطوط العرض وتفلطح الأرض .

٣) الفتره الثالثه : (الجيوديسيا وتطور صناعة الخرائط) :

أدت المحاولات المختلفه لاجراء القياسات الجيوديسيه منذ محاولات سنل Snell وبيكارد Picard وغيرهما إلى إعتبار القياسات الجيوديسيه الأرضيه (الزوايا والمسافات) طرقاً مناسبه للتعيين النسبى للموقع (الاحداثيات النسبيه) . أيضا بدأ إستخدام الشبكات الجيوديسيه المكونه من عدد من النقاط والتى يتم تعيين إحداثياتها الأفقيه النسبيه بإستخدام قياسات الزوايا والمسافات بين هذه النقاط، بالطريقه المعروفه بشبكات المثلثات Triangulation networks ، من إنشاء الخرائط . كما إستخدمت الأرصاد الفلكيه لتعيين الاحداثيات المطلقه لعدد من النقاط الجيوديسيه الأساسيه ، وإستخدمت طريقة الميزانيه فى قياس فروق الارتفاعات للنقاط الجيوديسيه من نقطه معلومه . وقد إستخدم فى قياس شبكات المثلثات أجهزة التيودوليت (لقياس الزوايا الأفقيه والرأسيه) وأجهزة قياس الأطوال كالشرائط والسلاسل والموازين والقامات لقياس الارتفاعات . وزادت دقة قياس الشبكات والتعيين الفلكى للإحداثيات وقياس الأرتفاعات بدقة كبيرة خلال الفتره من ١٧٥٠ إلى ١٩٥٠ م ، كما تطورت أجهزة القياس تطوراً كبيراً . وقد ساعد التطور فى القياسات الجيوديسيه ودقتها وسرعة أدائها من الامداد بالبيانات اللازمه لانشاء الخرائط وتطوير صناعتها .

ومع التطور فى طرق تعيين الاحداثيات والارتفاعات وصناعة الخرائط لم تتوقف الاكتشافات فى مجالات الجيوديسيا الأخرى . فعلى سبيل المثال تمكن الفيزيائى الانجليزى كافندش Cavendish (١٧٣ - ١٨١٠ م) من تعيين كتلة الأرض ، كما تمكن عالم الفلك والرياضيات الفرنسى لابلاس Laplace (١٧٤٩ - ١٨٢٧ م) من وضع تصوره الحديث عن ميكانيكية الاجرام السماويه ونظريته عن المد والجزر . أما الفلكى الألمانى بيشل Bessel (١٧٨٤ - ١٨٤٦م) فقد تمكن من تعيين أول قيمه دقيقه عن تفلطح الأرض من المعلومات المتاحه عن الاحداثيات الجيوديسيه . وتمكن عالم الرياضيات الفرنسى جاوس Gauss من تعريف الجيوئيد Geoid كما إستخدم طريقه أقل التربيعات Least - Squares .

ومع نهاية القرن الثامن عشر وأثناء القرن التاسع عشرتطورت علوم الرياضيات تطورا عظيما خاصه منها الرياضيات التطبيقيه التى تستخدم حتى اليوم فى العلوم الجيوديسيه .

أيضا وخلال هذه الفتره حدث تطورا كبير فى فروع أخرى من العلوم قريبه الصله بعلم الجيوديسيا ونخص بالذكر منها علوم الجيولوجيا والجيوفزياء ، حيث ظهرت نظريه الجيولوجى الاسكتلندى هيوتن **Hutton** (١٧٢٦ - ١٧٩٦م) عن تطور سطح الأرض كما درس الالمانى هومبولت **Humboldt** (١٧٦٩ - ١٨٥٩م) السمات الفيزيائيه المختلفه للأرض ، ووضع الجيوفزيائى الألمانى فيجنر **Wegner** (١٨٨٠- ١٩٣٠) نظريته عن تزحزح القارات .

وفى مجال الأجهزة الجيوديسيه أدت دراسات الفيزيائى الاسكتلندى ماكسويل **Maxwell** (١٨٣١ - ١٨٧٩م) عن انتشار الموجات الكهرومغناطيسيه إلى إستخدام تطبيقاتها فى قياس المسافات. وتمكن الفيزيائى الألمانى - الامريكى ميشيلسن **Michelson** (١٨٥٢ - ١٩٣١م) لأول مرة من إستخدام الموجات الكهرومغناطيسيه فى قياس المسافات الطويله بدقه عاليه .

فى منتصف القرن التاسع عشر بدأت أولى المحاولات لقياس الانحراف عن العمودى . قام بهذه المحاوله إثنان من الفيزيائيين الانجليز (إيرى وبرات **Airy and Pratt**) بهدف دراسه إتزان الأرض **Isostasy** . وظهرت أولى المحاولات الجادة للصياغه الرياضيه والفيزيائيه للعلاقات الجيوديسيه والتى بدأت بالجيوديسى الالمانى هيلمارت **Helmert** عام ١٨٨٠م تلاه الفيزيائى الانجليزى ستوكس **Stokes** عام ١٨٨٣م . أيضا تمكن كل من الاسكتلندى كلفن **Kelvin** (١٨٢٤ - ١٩٠٧م) والانجليزى داروين **Darwin** (١٨٤٥ - ١٩١٢م) والفرنسى بوينكار **Poincare** (١٨٥٤ - ١٩١٢م) من صياغه نظريه المد والجذر ، وصاغ الفلكى الكندى نيوكومب **Newcomb** (١٨٣٥ - ١٩٠٩م) تأرجح محور دوران الأرض . وفى النصف الأول من القرن التاسع عشر تمكن الفيزيائى المجرى إتفوس **Eotvos** من دراسه ميول وإنحدارات الجاذبيه كما طور الجيوفزيائى الهولندى فيننج مينز **Vening Meinesz** نظريه إتزان الأرض .

وشهد بدايه القرن العشرين تحولا كبيرا فى مجال الجيوديسيا سواء فى النظريه أوالتطبيق ، نظرا لظهور نظريتى إينشتين **Einstein** عن النسبيه الخاصه والنسبيه العامه وإستخدام الزمن كبعد رابع لأبعاد الفضاء .

٤) الفترة الرابعه : (الجيوديسيا فى العصر الحديث) :

شهد منتصف القرن العشرون بزوغ فجر جديد وثورة تقنيه متقدمه فى مجال علم الجيوديسيا . حيث أدت الحاجه إلى سلاح دفاعى خلال الحرب العالمية الثانية إلى إكتشاف الرادار ، والذى أدى بدوره إلى تطور سريع فى أجهزه القياسات الجيوديسيه . فى نفس الفترة ظهرت نتائج المحاولات الأولى لتصميم الحاسبات الآليه ، ففتحت بدورها الآفاق لتطوير الحساب والتحليل العددى وساعدت على تطوير وزيادة سرعه الحسابات الجيوديسيه التى لا يمكن تخيل صعوبتها والبطء فى أدائها فيما مضى .

كما أضافت الحاسبات الآليه الجديد للجيوديسيا بالمساعده ليس فقط علـى حـل المسـائل المعقده والتى لم يكن لها حلول فيما مضى بل أيضا تسهيل الحصول على حلول لهذه المشاكل الجيوديسيه .

بعد إنتهاء الحرب العالمية الثانية بفترة وجيزه توفر عدد غير قليل من أجهـزة قيـاس المسـافات ذات الدقه العاليه والمخصصه للأغراض الجيوديسيه . صممت هذة الأجهـزه فـى بدايتهـا علـى إسـتخدام الضوء المستقطب وتطورت فيما بعد إلى إستخدام موجـات الراديـو ثـم أشـعه الليـزر ممـا أدى إلـى دقه إجراء القياسات الجيوديسيه وتقييم الاحداثيات .

وقد أدى تطور علوم الفلك إلى إستحداث إحدى الطرق الفضائيه لتعيين الاحداثيات بدقـه عاليـه والتى تعتمد على الفلك الراديوى وإستقبال نبضـات أشـباه النجـوم . كمـا أدى التطـور السـريع فـى علـوم الفضاء وإطلاق الأقمار الصناعيه متعدده الأغراض إلى قفـزه عاليـه فـى مجـال الجيوديسـيا ، حيـث بـدأ لأول مرة إستخدام أغراض فضائيه ، خامله أو نشطه ، بدلا مـن النجـوم فـى التحديـد الدقيـق لاحداثيـات نقاط جيوديسيه تـنعدم الر ؤية فيما بينها . ونذكر من الطرق الفضائيه المستخدمه فـى تعييـن الاحداثيـات طرق بث أشعه الليزر تجاه الاقمار الصناعيه المجهـزه بمرايـا عاكسـه ، وأيضـا النظـام العـالمى لتعيين الأحداثيات المعروف باسم **GPS** والذى ساعد على سرعه القياسات الجيوديسيه ودقتها .

أيضا أتاحت المدارات المنخفضه للأقمار الصناعيه دراسه مجال الجاذبية الأرضيه مـن خـلال دراسه التأثير المباشر لهذا المجال على حركه القمر الصناعي وسلوكه ، كما ساعد رسم مجـال التثاقليـه الأرضي من دراسه مدارات الأقمار الصناعيه وهو أحد فروع الجيوديسيا الحديثه (جيوديسيا الفضاء).

أدى إزدياد الدقه وسهوله إجراء القياسات الجيوديسيه وتحديد الاحداثيات وكذلك تعيين عنـاصر حقل الجاذبيه الأرضيه إلى ظهور تطبيقات جديده لعلم الجيوديسيا وبالتالى ظهـور مشـاكل جيوديسـيه لـم تكن معروفه فيما مضى . أيضا بدأ إرتباط الجيوديسيا بفروع أخرى من العلوم مثل علوم الفضـاء وعلوم البحـار . كمـا بـدأ إهتمـام فـروع أخـرى مـن العلوم بتطبيقـات الجيوديسـيا ونتائجهـا مثـل الجيولوجيـا والجيوفزياء .

وعلاقه علم الجيوديسيا وعلم الجيوفزياء أصبحت ذات طبيعه خاصه بعد التقبل الواسع المـدى لنظريه الصفحات التكتونيه وتزحزح القارات فيما بعد بدءاً من عام ١٩٦٠ . ونظرا لأن معدل التحـرك التكتونى النسبى لبعض صفحـات الكـرة الأرضيـه سـريع نسـبيا بحيـث أمكـن قياسـه ومراقبتـه بـالطرق الجيوديسيه ، أصبحت الجيوديسيا أحد المصادر الأساسيه للامداد بالمعلومات عن هذه التحركات . أيضـا أدى نجاح تطبيقات وإستخدامات الجيوديسيا فى تقصى تكتونيه الأرض إلى مزيد مـن تطبيقـات التقنيـات الجيويسيه لدراسه ديناميكيه الأرض وتحركاتها الحديثه .

أما علاقه الجيوديسيا بعلوم البحار فيعتبر من أهم وأخر التطبيقات الهامه التى أدى إليها طبيعـه المناطق البحريه والرغبه فى البحث عن مصـادر الثروة فـى قـاع البحـار ، حيث أصبـح تحديد مواقـع الأغراض المتحركه والثابته فى البحار مـن أهم التطبيقـات الجيوديسـيه . تلعب الجيوديسـيا أيضـاً دورا أساسيا فى التحديد الدقيق للمركبات المتحركه وعمليات الملاحه الدقيقه سواء فى البحار أو الفضاء .

وقد فتحت الجيوديسيا الحديثه آفاقا جديده وواجهت تطبيقات ومشاكل عده إستلزمت الاستعانه بأجهزه وتقنيات متطورة وأصبحت الجيوديسيا أكثر إتصالا وتداخلا مع الكثير من فروع العلم وإتسعت تطبيقاتها المختلفه لخدمه كثير من المجالات .

علاقه الجيوديسيا بفروع العلم المختلفه

ترتبط الجيوديسا إرتباطا وثيقا بالعديد من فروع العلم وتختلف درجه الارتباط من فرع لآخر فهناك فروع تعتمد على الجيوديسيا وتطبيقاتها إعتمادا مباشراً ، وفروع أخرى ترتبط بالجيوديسيا إرتباط عطاء متبادل فيما بينهما ، وفروع إعتمدت عليها الجيوديسيا فى مراحل تطورها :

١) تطبيقات علم الجيوديسيا :

يعتبر علم المساحه الفرع التطبيقى لعلم الجيوديسيا . فالمساحه هى تطبيق الجيوديسيا لتحديد الاحداثيات أما الجيوديسيا فهى المصدر النظرى لعلم المساحه . لذلك يعتبر دور الجيوديسيا أعم وأشمل حيث تساعد الجيوديسيا فى الامداد بالمعلومات اللازمه لفروع تطبيقيه مختلفه كما تخدم الجيوديسياعلم المساحه الذى ينحصر دوره فى تعيين الاحداثيات اللازمه لرسم وإنشاء الخرائط . وفيما يلى عدد من الفروع التطبيقيه المختلفه التى تضطلع الجيوديسيا فيها بدور رئيسى :

أ) **رسم وإنشاء الخرائط :** يلزم رسم الخرائط إنشاء وقياس شبكات جيوديسيه مكونه من عدد من النقاط الجيوديسيه وتعيين إحداثياتها الأفقيه والرأسيه . وتمكن النتائج من إنشاء الخرائط المتدرجه ، من مقياس الرسم الصغير إلى مقياس الرسم الكبير ، وأيضا إنشاء الخرائط الضروريه للاستخدامات المختلفه .

ب) **التخطيط العمرانى :** لاجراء التخطيط العمرانى للبيئه وزياده الابداعات البشريه والبحث عن مصادر الثروة الطبيعيه ، تساعد الجيوديسيا فى تعيين إحداثيات المناطق الحضريه ومناطق الثروة الطبيعيه وتوثيقها وإعداد خرائط مرجعيه لها .

جـ) **المشروعات الهندسيه :** أثناء المراحل المختلفه لانشاء المشروعات الكبرى كالسدود والكبارى والمصانع يكون ضروريا تعيين إحداثيات وتحديد مواقع الوحدات المختلفه لمثل هذه المشروعات ، وتلعب الجيوديسيا دورا رئيسيا فى تعيين الاحداثيات وتحديد المواقع . وفى بعض المشروعات يتطلب العمل ضرورة معرفه تحركات سطح الأرض قبل وأثناء وبعد إتمام الانشاءات ، وتساعد الجيوديسيا وبياناتها المتكررة من مراقبة هذه التحركات أثناء مراحل الانشاء المختلفه . وكثيرا ما يستلزم إنشاء السدود وقنوات المياه لمشروعات الرى المعرفه الدقيقه لشكل وهيئة أسطح تساوى الجهد لمجال التثاقليه وهو ما يمكن للجيوديسيا الامداد به من خلال دراسه توزيع مجال التثاقليه فى منطقه الانشاء .

د) **تعيين الحدود** : تهتم الدول بالتحديد الدقيق للحدود الدوليه بينها كما تهتم بتعيين الحدود بين المقاطعات أو الولايات أو المحافظات . كما تهتم الدول فى الوقت الحاضر بالتحديد والوصف الدقيق لمناطق إمتياز البترول والغاز على الأرض وفى البحار خاصه فى مناطق الرف القارى . ويعتبر تحديد الحدود وتعيين المواقع من المهام التى تضطلع بها الجيوديسيا من خلال تعيين الاحداثيات وقياس الشبكات الجيوديسيه وإنشاء الخرائط .

هـ) **علوم البيئه** : تعتبر دراسه البيئه وتأثير الأنشطه البشريه عليها من أهم الدراسات الحديثه الضروريه للحفاظ عليها . ومن أخطر هذه المؤثرات تحركات سطح الأرض الناشئه عن إستخراج مصادر الثروة من تحت سطح الأرض والتى تشمل المياه والبترول والغاز والمعادن ، وأيضا التخلص من الفضلات والمخلفات تحت سطح الأرض مما يشكل تغييرا للأحمال الواقعه على الأرض وتغيير إتزانها . وتساعد الطرق الجيوديسيه وتطبيقاتها من مراقبه هذه التحركات وتحديد أماكنها .

و) **التخطيط البيئى والسكانى** : يعتبر إنشاء بنك للمعلومات البيئيه والسكانيه من أهم مستلزمات الحياه العصريه . ويلزم ذلك إنشاء نظام متكامل للمعلومات عن النقل – مصادر البيئه – مناطق إستخراج الثروة المعدنيه – مناطق الزراعه والصناعه – الاحصاءات السكانيه – الخدمات الاجتماعيه وخلافه . وتعتمد هذه المعلومات فى تنظيمها على توزيعها لاقسام ومناطق على سطح الأرض يتم تحديد مواقعها بالاحداثيات ، والاحداثيات تعتمد فى تعيينها على الشبكات الجيوديسيه ، ومثال ذلك نظام المعلومات الجغرافيه GIS .

ز) **الجغرافيا** : تعطى الجيوديسيا جميع معلومات الاحداثيات المتطلبه للجغرافيا . ومع أن معلومات الاحداثيات التى يستخدها الجغرافيون أقل دقه من المتطلبه للفروع الأخرى السابق ذكرها ، إلا أن هذه المعلومات لا يمكن الحصول عليها ، على إمتداد الكره الأرضيه ، إلا من خلال الجيوديسيا .

ح) **دراسه الكواكب** : مع ما يتبادر للذهن من أن هذه الدراسات ما هى إلا فرع من علوم الفلك أو الجيوفزياء ، إلا أن دراسه شكل وحجم الكواكب ومجال جاذبيتها وتشوهاتها ما هى إلا مسائل جيوديسيه يمكن دراستها من خلال جيوديسيا الفضاء .

ط) **دراسه الغلاف المائى** : يعتبر البعض هذه الدراسات فرعا من علوم البحار ، إلا أن هذه الدراسات ترتبط أيضا بالجيوديسيا وأحد فروعها يسمى بالمساحة البحرية . فعلى سبيل المثال فإن تعيين الاحداثيات والأعماق تستلزم إستخدام عدد من التطبيقات الجيوديسيه .

٢) العلاقه المتبادله بين الجيوديسيا وفروع العلم المختلفه :

ترتبط الجيوديسيا مع عدد من فروع العلم علاقه مشاركه ، حيث تمد الجيوديسيا هذه العلوم بنوع من المعلومات وتمد هذه العلوم الجيوديسيا ببيانات ومعلومات أخرى . ويمثل الشكل رقم (٥) علاقه الجيوديسيا بفروع العلم المختلفه التى نذكر منها :

أ) الجيوفزياء : تعتبر الجيوفزياء من أكثر فروع العلم إرتباط بالجيوديسيا . ففى بعض المعاهد العلميه تصنف الجيوديسيا كأحد فروع الجيوفزياء نظرا لعلاقتهماالوطيدة ولأنه فى كثير من الاحوال يصعب التعرف أين تنتهى الجيوفيزياء وأين تبدأ الجيوديسيا ، فالحدود بينهما غير واضحه ، حيث تحتاج الجيوفزياء إلى البيانات الجيوديسية (الإحداثيات) ، كما تستخدم التطبيقات الجيوديسيه لدراسة تشوهات الأرض ومراقبة التحركات التكتونيه الحديثه ودراسة ديناميكة الأرض .

وتعتبر جاذبية الأرض أحد مصادر المعلومات الهامة التى تستخدم فى علم الجيوديسيا كما تستخدم فى الاستكشاف الجيوفيزيقي . يهتم الجيوفيزيقين ببيانات الجاذبيه لدراسة عدم التجانس فى كثافات وتوزيع الأجسام تحت سطح الأرض وبالتالى دراسة التراكيب الجيولوجيه تحت السطحيه. كما يهتم الجيوديسيون ببيانات الجاذبيه لدراسة شكل وتوزيع مجال الجاذبيه الأرضيه وتغيره مع تغير شكل الأرض ومع الزمن . ولمزيد من التخصيص فإن دراسة الجاذبيه الأرضية وتوزيعها وتغيرها على إمتداد الكره الأرضية هو أحد المسائل الجيوديسيه ، أما دراسة الجاذبيه الأرضيه على المستوى الإقليمى والمحلى فهو على الأكثر لاغراض جيوفيزيقيه. أيضا تتيح دراسة تغير مجال الجاذبيه مع الزمن من إعطاء مدلولات قيمه عن أسباب التحركات الرأسيه للقشره الأرضيه وتستخدم هذه البيانات فى مجال دراسات الديناميكيه الحديثه للارض .

تتيح الجيوفيزياء دراسة القوى الطبيعيه المؤثره على الأرض ومدى تأثير هذه القوى على توزيع الكثافات داخل الأرض وأيضاً مدى تأثيرها على تركيب الأرض الداخلى وكذلك حركتها . وتستلزم هذه الدراسات تطبيق عدد من النماذج الرياضيه ومزيد من البيانات الجيوديسيه .

ب) علوم الفضـــاء : تعتبرعلوم الفضاء من المجالات الحديثه إذا ما قورنت بالجيوفيزياء . ومنذ بداية هذا الفرع من العلوم أرتبط إرتباطاً وثيقاً بالجيوديسيا ، حيث يرجع ذلك إلى الحاجه لمعلومات دقيقه عن تنظيم مجال الجاذبيه الخارجي للأرض وأهميتة فى دراسة مدارات مركبات الفضاء . هذا بالاضافه إلى إنه يلزم تعيين إحداثيات محطات إطلاق ومراقبة الأقمار الصناعيه بدقة عالية ويستخدم فى تعيينها الطرق الجيوديسيه الدقيقه .

شكل رقم (٥) : علاقه الجيوديسيا بالفروع المختلفه للعلم .

وعلى الجانب الآخر ساهمت علوم الفضاء فى إستحداث وتطوير أساليب جديدة ودقيقة لتعيين الإحداثيات بأستخدام الأقمار الصناعيه ، والتى تستخدم حالياً جنباً إلى جنب مع التقنيات الجيوديسيه الأرضيه . أيضاً يمكن تحليل أرصاد مدارات الأقمار الصناعيه منخفضة المدارات من دراسة مجال الجاذبيه الأرضية المتميز بالطول الموجى الكبير والذى يشتمل على بيانات قيمة عن تفلطح الأرض . ويساعد تحديد مسار الأهداف الفضائيه السحيقه من تعيين كتله الأرض بدرجة عاليه من الدقه .

جـ) علم الفلـــــك : علم الفلك من أقدم العلوم التى إرتبط بها علم الجيوديسيا إرتباطاً وثيقاً وتطوراً معاً بدأ بيد لفترة طويلة من الوقت . وعلى الرغم من أن إعتماد الجيوديسيا على الفلك فى الوقت الحاضر قد قل لدرجة ما عن الماضى القريب ، إلا أن تعيين الإحداثيات من خلال الرصد الفلكى ما زال له دوراً رئيسى وهام فى مجال الجيوديسيا .

تعتمد الجيوديسيا أيضا على الفلك الراديوى لتعيين الإحداثيات بدقة عالية ، وقد يلزم مستقبلاً مزيد من الأعتماد على هذه التقنيه . وتشارك الجيوديسيا الفلك الأهتمام بتعيين المسافه إلى القمر بإستخدام أشعة الليزر ، حيث يستفيد منها الفلكيون فى حساب مدار القمر وتأرجحه بينما يستخدمها الجيوديسيون فى تعيين الإحداثيات . أيضاً يعتبر مراقبة حركة دوران الأرض من الظواهر التى تهم كل من الفلكيين والجيوديسيين.

د) علوم البحار والمحيطـــات : يهتم كل من علم الجيوديسيا وعلوم البحار والمحيطات بتعيين حركه المد والجذر وتحركات الشواطئ ، حيث يمد الجيوديسيون علماء البحار بأجهزة قياس الارتفاعات النسبيه لمستوى المياه (مقياس المد والجذر) على الشواطئ ، وأيضا المشاركه فى دراسه التحركات الرأسيه للشواطئ . وتساعد الجيوديسيا فى تعيين مواقع وإحداثيات الأهداف البحريه الساكنه والمتحركه والتى تشمل جبال الثلوج والمركبات البحريه وهى أهداف هامه لعلماء البحار .

وتعتبر المعلومات والبيانات البحريه عن حيود متوسط سطح البحر عن سطح تساوى الجهد للجاذبيه الأرضيه (الجيوئيد) ذات أهميه كبيرة للجيوديسين ، حيث تتيح هذه المعلومات إنشاء مستوى مرجعى لقياس الارتفاعات .

هـ) دراسه الغلاف الجوى : تشارك دراسات الغلاف الجوى الجيوديسيا الاهتمام بتحليل بيانات إضطراب مدارات الاقمار الصناعيه . فبينما تفسر الجيوديسيا هذه البيانات فى إطار إختلاف مجال الجاذبيه الأرضيه ، تفسرها دراسات الغلاف الجوى فى إطار إختلاف توزيع كثافات الغلاف الهوائى . ولبيانات تغير كثافات وحرارة الغلاف الهوائى أهميه كبيرة للجيوديسيا تتمثل فى دراسه تأثير إنكسار الغلاف الهوائى على القياسات الجيوديسيه ، والتى تمثل أحد المشاكل العسيره فى كثير من القياسات

الجيوديسيه ، وإنشاء نماذج دقيقه لانكسارات الغلاف الهوائى . أيضا يحتاج الجيوديسيون إلى البيانات المناخيه لتفسير التغير فى مستوى سطح البحر .

و) علم الجيولوجيا : تعتمد الجيولوجيا على الجيوديسيا فى تعيين الاحداثيات (الأفقيه والرأسيه) لانشاء الخرائط الجيولوجيه . وتمد الجيولوجيا الجيوديسيا بالمعلومات اللازمه عن طبيعه التكوينات الصخريه المختلفه وثباتها النسبى والتى تساعد بدورها فى إختيار الأماكن المناسبه لانشاء النقاط الجيوديسيه وأيضا إنشاء المراصد الجيوديسيه المتنوعه .

٣) الأسس النظريه لعلم الجيوديسيا :

إعتمدت الجيوديسيا على عدد آخر من فروع العلم التى أمدتها بأساسها النظرى ، كما ساعدت على تطور علم الجيوديسيا ، وهى علوم الرياضيات والحاسب الآلى والفيزياء .

أ) الرياضيات : تعتمد البنيه الأساسيه والصياغه الرياضيه والفيزيائيه للعلاقات الجيوديسيه على الرياضيات . ويعتبر كثير من العلماء الجيوديسيا أحد فروع الرياضيات التطبيقيه .

ب) علوم الحاسب الآلى : تطورت الحسابات الجيوديسيه كثيرا مع تطور الحاسب الآلى . وتحتاج معظم المسائل الجيوديسيه حاليا إلى إستخدام الحاسب الآلى مما يستلزم معرفه الجيوديسين بأعمال البرمجه وإستخدام الحاسب الآلى فى رسم الخرائط والقطاعات . أيضا تعتمد الجيوديسيا فى حساباتها على العديد من طرق التحليل الرياضى والعددى وحل المعادلات الرياضيه .

جـ) الفيزياء : تعتبر الفيزياء ذات أهميه كبيرة للجيوديسيا كما الرياضيات . فقد لعبت نظريه نيوتن عن الجاذبيه دوراً هاما فى علم الجيوديسيا وزادت أهميتها مع تطور علم الجيوديسيا وإهتمامه بدراسه تنظيم مجال الجاذبيه الأرضيه . وتعتبر نظريه إنتشار الموجات الكهرومغناطيسيه الأساس النظرى للعديد من الأجهزة الجيوديسيه المستخدمه فى قياس المسافات . كما ساعدت الميكانيكا على تفهم حركه الأرض والقمر ودراسه مدارات الأقمار الصناعيه ، خاصه أساسيات الميكانيكا عن حركه الجسيمات الطبيعيه فى مجال جهد ودوران الأجسام الغير منتظمه .

أيضا ساعدت الفيزياء على تفهم طبيعه تشوهات الأرض ، وأمدت بالاساسيات اللازمه لمعايرة الأجهزه الجيوديسيه .

منهج علم الجيوديسيا

يبحث علم الجيوديسيا كما سبق أن ذكرنا فى شكل الأرض وهيئتها وحجمها وتعيين الاحداثيات عليها ودراسه مجال جاذبيتها ومراقبه تغيرها مع الزمن . وتنقسم الجيوديسيا التقليديه إلى عدد من التخصصات هى الجيوديسيا الهندسيه والجيوديسيا الطبيعيه والجيوديسيا الرياضيه والجيوديسيا الديناميكيه . وخلال الثلاثين سنه الماضيه ظهرت تقنيات وتطبيقات جيوديسيه جديدة أضافت عددا آخر من التخصصات إلى علم الجيوديسيا هى جيوديسيا الأقمار الصناعيه وجيوديسيا الفضاء والجيوديسيا البحريه .

وينحصر دور الجيوديسيا عموما فى ثلاث وظائف أساسيه هى :

أ) تعيين الاحداثيات .

ب) دراسه مجال جاذبيه الأرض .

جـ) دراسه التغير فى الاحداثيات ومجال الجاذبيه .

ويتلخص دور كل منها فيما يلى :

تعيين الاحداثيات : تهتم الجيوديسيا بتعيين الاحداثيات سواء لنقاط بمفردها أو لنقاط تشكل شبكات جيوديسيه . ويكون تعيين الاحداثيات إما تعيين مطلق (باستخدام أحد نظم الاحداثيات) أو نسبى (بالنسبه لنقطه معلومه الاحداثيات) .

جاذبيه الأرض : تهتم الجيوديسيا بدراسه شكل وتوزيع مجال جاذبيه الأرض . ولمجال جاذبيه الأرض أهميه خاصه لتصحيح بيانات القياسات الجيوديسيه التى تجرى على سطح الأرض تحت تأثير مجال الجاذبيه وأيضا دراسه شكل وتنظيم أسطح تساوى الجهد وإتجاه خط الفادن العمودى على كل منها.

تغير الاحداثيات وتغير مجال جاذبيه الأرض مع الزمن : تقع الأرض تحت تأثير القوى الداخليه والخارجيه التى تعمل على تحرك قشرتها وتشوه سطحها يتبعها تغير فى إحداثيات النقاط الجيوديسيه وتغير مجال جاذبيه الأرض . وتساعد الجيوديسيا فى تعيين مدى هذا التغير والتعرف على أسبابه التى منها على سبيل المثال القوى التكتونيه المؤثرة على الأرض و المد والجذر و تغير الأحمال على القشرة الأرضيه سواء بالزيادة أو النقصان .

ويروق لبعض علماء الجيوديسيا تحديد دور علم الجيوديسيا فى ثلاث وظائف هى :

١) إنشاء وصيانه وقياس النقاط والشبكات الجيوديسيه الأساسيه والتعرف على طبيعه تغير إحداثياتها مع الزمن.

٢) تعيين مجال جاذبيه الأرض وطبيعه تغيره مع الزمن .

٣) مراقبه ودراسه بعض مظاهر ديناميكيه الأرض (الجيوديناميكا) خاصه منها حركـه دوران الأرض وتأرجح القطبين و المد والجزر وتحركات القشرة الأرضيه والتحركات النسبيه للصفحات التكتونية.

١) حركه الأرض :

يقع كوكب الأرض تحت التأثير المتزامن لقوى مختلفه تدفع الأرض إلى إنتهاج الحركه التاليه:

أ) حركه الأرض مع مجرتنا الكونيه (درب التبانه) بالنسبه للمجرات الأخرى ،

ب) حركه الأرض مع المجموعه الشمسيه بالنسبه لمجرتنا الكونيه ،

ج) دوران الأرض حول الشمس مع كواكب المجموعه الشمسيه ،

د) دوران الأرض حول محورها (المحور الواصل بين القطبين مروراً بمركز الأرض) .

ويهتم علم الفلك بدراسه حركه المجرات والمجموعات المكونه للمجرات ، أما علم الجيوديسيا فيقع ضمن إهتماماته حركه دوران الأرض حول الشمس (الحركه السنويه) وحركه الدوران المغزلى للأرض حول محورها (الحركه اليوميه) .

ولدراسه ووصف كل من الحركه السنويه والحركه اليوميه للأرض ، يتم ذلك من خلال عده فروض مختلفه ، حيث تستخدم ميكانيكا الأجسام السماويه لتوضيح الحركه السنويه للأرض ، مع إعتبار الأرض والأجسام الفضائيه الأخرى كنقاط فضائيه لا حجوم لها . ولدراسه الحركه اليوميه للأرض وإرتجاف محورها يؤخذ كتله الأرض وحجمها فى الاعتبار .

الحركه السنويه للأرض (دوران الأرض حول الشمس) : لتوضيح الحركه السنويه للأرض يجرى إهمال حجم الأرض والأجسام الفضائيه الأخرى بالنسبه لحجم المجموعه الشمسيه . وتعتبر قوانين كبلر **Kepler** (١٥٧١ - ١٦٣٠م) الاساس الذى يستخدم فى تفسير حركه دوران الأرض وكواكب المجموعه الشمسيه حول الشمس .

وتنص قوانين كبلر على :

أ) تدور الأرض وكواكب المجموعه الشمسيه حول الشمس فى مدارات بيضاويه تشكل قطعا ناقصاً تقع الشمس فى إحدى بؤرتيه (شكل رقم ٦) .

ب) تدور الأرض وكواكب المجموعه الشمسيه فى مداراتها حول الشمس بسرعات مساحيه (زاويه) ثابته ..أى أن الخط الواصل بين مركزى الأرض والشمس ، على سبيل المثال ، يمسح مساحات متساويه فى أزمنه متساويه ، وهو ما يعنى تحرك الأرض بسرعه أكبر عند إقترابها من الشمس عنها فى حاله بعدها عن الشمس .

ج) يتناسب مربع زمن دوران الكوكب حول الشمس تناسباً طردياً مع مكعب متوسط المسافه بين الكوكب والشمس ، لذا تكمل الأرض ، كمثال ، دورتها حول الشمس كل سنه فلكيه (السنه الفلكيه=الزمن ألذى يستغرقه دوران الأرض مرة واحدة حول الشمس مقيسا بالنسبه للنجوم الثابته) .

ويهتم علم الجيوديسيا بدراسه مدار الأرض حول الشمس ، والذى يتأثر بحركه الكواكب الأخرى للمجموعه الشمسيه وكذلك حركه القمر ، فيحيد هذا المدار عن شكله كقطع ناقص . إلا أنه فى العديد من الدراسات والتطبيقات يمكن إهمال هذه الاضطرابات فى مدار الأرض حول الشمس نظرا لصغرها بالنسبه لأبعاد المدار نفسه .

الحركه اليوميه للأرض (دوران الأرض حول محورها) : لتوضيح حركه الدوران المغزلى اليومى للأرض حول محورها ، لا يمكن إهمال حجم الأرض . ويستخدم نموذج جيودينا ميكى مبسط لدراسه هذه الحركه ، يجرى فيه إعتبار الأرض كجسم صلب يدور حول الشمس ، كما يدور مغزليا حول محور قاطع لهذا الجسم . ويعرف الجسم الصلب الذى يدور مغزليا (حلزونيا) حول محوره ، فى علم الميكانيكا ، بالجيروسكوب (Gyroscope) . وينطبق محور الدوران المغزلى للأرض مع محورها الرئيسى مروراً بمركزها . ومن الظواهر الأرضيه للدوران اليومى للأرض وحركتها المغزليه حول محورها تعاقب الليل والنهار .

وتحدث حركة محور دوران الأرض المغزليه بسبب العزوم الخارجيه المؤثرة على محور دوران الأرض والناتجة عن جذب الأجسام السماوية خاصة منها الشمس والقمر، والتي تؤثر على محور دوران الأرض. حيث يرسم محور دوران الأرض ، فى الفضاء ، مخروطا دائريا تقع قمته (رأسه) فى مركز الأرض . لذا فإن محور دوران الأرض لا يكون ثابتا فى موقعه بالفضاء ، إنما يدور على سطح مخروط متعامد على مركز الأرض ، ويكمل محور دوران الأرض دورة مخروطيه واحده كل ٢٦٠٠٠ سنه تقريبا .

ويتأثر محور دوران الأرض وحركته المغزليه بحركه القمر وينتج عنها تداخل حركة دورية كل ١٨,٦ سنه تؤدى إلى إضطراب الدوران المخروطى لمحور الأرض . وتسمى الحركه المتداخله مع الحركه المغزليه والمؤثرة عليها بتأرجح محور الأرض .

٢) مجال جاذبيه الأرض : نظرا لتأثر أجهزة القياس الجيوديسيه المستخدمه على سطح الأرض ، بعدد من القوى الطبيعيه من أهمها مجال جاذبيتها ، لذا يهتم علم الجيوديسا بدراسه جاذبيه الأرض وتوزيعها على سطح الأرض .

ويرجع الفضل فى صياغه قوانين الجاذبيه إلى عالم الرياضيات الانجليزى إسحق نيوتن Isaac Newton (١٦٨٧م) . وينص قانون نيوتن العام للجاذبيه على حدوث قوى متبادله بين أى جسمين ، وتتناسب قوة الجذب طرديا مع خاصل ضرب كتلتى الجسمين وعكسيا مع مربع المسافه بينهما . لذا فإنه قوة الجذب (ق) التى يجذب بها جسمين كتلتاهما (ك١) ، (ك٢) كل منهما الأخر تعطى بالعلاقه :

$$\text{ق} = \text{قر} \frac{\text{ك}_1 \times \text{ك}_2}{\text{ف}^2}$$

حيث (ف) هى المسافه التى تفصل بين الجسمين ، (قر) هو ثابت التناسب ويسمى الثابت العام للجاذبيه.

أجريت العديد من القياسات لتعيين قيمه الثابت العام للجاذبيه (قر) ووجد أنه يساوى :
$٦,٦٧٢ \times ١٠^{-١١}$ كجم$^{-١}$. م^{٣} . ث$^{-٢}$ أو $٦,٦٧٢ \times ١٠^{-٨}$ جم$^{-١}$. سم^{٣} . ث$^{-٢}$.

و فى حاله جذب الأرض للأجسام الواقعه فى مجال جاذبيتها ، تعطى عجله الجاذبيه الأرضيه (جـ) بالعلاقه :

$$\text{جـ} = \text{قر} \frac{\text{ك}}{\text{ف}^2}$$

حيث (ك) تمثل كتله الأرض ، (ف) المسافه بين الجسم الواقع تحت تأثير مجال جذب الأرض ومركز ثقلها .

وتعرف عجله الجاذبيه الأرضيه (جـ) ، بالعجله التى يتحرك بها جسم ما تحت تأثير جذب الأرض ، وتقدر قيمه عجله الجاذبيه " بالجال " تكريما للعالم جاليليو (١ جال = ١ سم . ث$^{-٢}$) . ويبلغ متوسط قيمه عجله الجاذبيه الأرضيه على سطح الأرض ٩٨٠,٣ جال .

ويمكن قياس قيمه عجله الجاذبيه الأرضيه بعدد من أجهزة القياس المتنوعه . وقد وجد أن قيمه عجله الجاذبيه الأرضيه تتغير إقليميا ومحليا على سطح الكرة الأرضيه ، ويبلغ مدى تغير عجله الجاذبيه حوالى ٥ جال ما بين خط الاستواء والقطبين (قيمه عجله الجاذبيه عند خط الاستواء ٩٧٨ جال وقيمتها عند القطبين ٩٨٣ جال) . ويرجع أسباب تغير عجله الجاذبيه الأرضيه لأسباب ثلاث هى :

أ) تغير الارتفاعات ، حيث تقل قيمه عجله الجاذبيه الأرضيه (جـ) مع الارتفاع (هـ) حسب العلاقه
Δجـ = − ٠,٣٠٨ Δ هـ ملليجال . م$^{-1}$. وعادة ما يجرى تصحيح لقيم الجاذبيه الأرضيه المقاسه بالنسبه للارتفاع عن سطح الجيونيد (متوسط مستوى سطح البحر) وحساب قيمه الجاذبيه الأرضيه بالنسبه لهذا السطح (قيم الجاذبيه المصححه للارتفاعات) .

ب) تفلطح الأرض : حيث تتغير قيمه عجلة الجاذبيه الأرضيه (حـ) فيما بين خط الاستواء والقطبين نظرا لتفلطح الأرض بما قيمته ٥ جال ، تبعا للعلاقه (كمثال) :

جـ. = ٩٧٨,٠٣٢٧ (١ + ٠٠٥٢٧٩٠٤١٤ جا^{٢} ϕ + ٠,٠٠٠٠٢٣٢٧١٨ جا^{٤} ϕ − ٠,٠٠٠٠٠٠١٦٢ جا^{٦}ϕ) جال

وتسمى (حـ.) بالقيم القياسيه لعجله الجاذبيه الأرضيه .

وعادة ما يجرى مقارنه قيم عجله الجاذبيه الأرضيه المصححه للارتفاعات (جـ) مع قيم عجله الجاذبيه القياسيه (جـ.) وحساب شاذات الجاذبيه (Δ جـ) حيث Δ جـ = جـ − جـ٠ ، وهى قيم لها مدلولات فيزيائيه .

جـ) التوزيع غير المتجانس للكثافات داخل الأرض : حيث تمثل القيمه الموجبه لشاذات الجاذبيه (جـ > جـ.) زيادة نسبيه فى الكثافات تحت سطح الأرض ، كما تمثل القيمه السالبه لشاذات الجاذبيه (جـ < جـ٠) قله نسبيه فى الكثافات تحت سطح الأرض . وتستخدم قيم شاذات الجاذبيه فى دراسه توزيع الكثافات تحت سطح الأرض ودراسه التراكيب الجيولوجيه تحت السطحيه . وقيم شاذات الجاذبيه تعتبر الاسلوب الشائع والامثل لرسم خرائط مجال الجاذبيه الأرضيه .

<u>**جهد الجاذبيه الأرضيه**</u> : بالاضافه إلى تمثيل قيم الجاذبيه الأرضيه (ق) بقيم عجله الجاذبيه الأرضيه (جـ) ، يمكن أيضا تمثيل قوى الجاذبيه الأرضيه بقيم غير متجهه تسمى جهد الجاذبيه الأرضيه . وقيم جهد الجاذبيه الأرضيه سالبه وتساوى الشغل الناتج عن تأثير قوى الجاذبيه (ق = ك جـ) على وحدة الكتله (ك) .

ويشمل جهد الجاذبيه الأرضيه جميع المعلومات والبيانات عن مجال الجاذبيه الأرضيه ، حيث يعبر مجال الجهد المنتظم عن مجالا منتظما للجاذبيه الأرضيه كما يعبر مجال الجهد الغير منتظم عن مجال غير منتظم (شاذا) للجاذبيه الأرضيه . ويستخدم جهد الجاذبيه لتعيين أسطح تساوى الجهد وخطوط القوى المتعامدة عليها وتبسيط تمثيل عدم الانتظام فى مجال الجاذبيه الأرضيه . ويمثل أسطح تساوى الجهد عدد لانهائى من الأسطح (شكل رقم ٧) ، كما تسمى خطوط القوى المتعامدة على أسطح تساوى الجهد بخطوط الفادن .

وتتميز أسطح تساوى الجهد ، والتى لها أهميه كبيرة فى علم الجيوديسيا ، بالخواص التاليه :

أ) لا تتقاطع خطوط تساوى الجهد مع بعضها البعض ويمثلها أسطح مغلقه يغلف كل منها الآخر تماما كما فى طبقات نبات البصل ،

ب) أسطح تساوى الجهد متصله دون إنقطاع ،

جـ) لا يوجد على أسطح تساوى الجهد أى إنحناءات حادة ،

د) يتغير تقوس الاقطار المحليه لأسطح تساوى الجهد بانتظام من نقطه إلى أخرى ، عدا النقاط التى يوجد عندها تغير فجائى فى الكثافات ،

هـ) أسطح تساوى الجهد محدبه فى كل مكان .

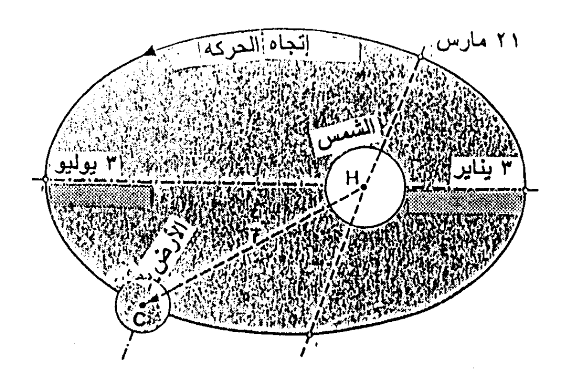
ولا يوجد تغيراً كبيراً فى أسطح تساوى الجهد ، عدا عدم الانتظام الناتج عن عدم التجانس فى توزيع الكثافات داخل الأرض ، حيث يحدث تغير بأسطح تساوى الجهد ، إلا أن عدم التجانس بهذه الأسطح يكون صغيرا نسبيا .

ويعرف إتجاه خط الفادن " بالاتجاه العمودى " وأسطح تساوى الجهد " بسطح الاتزان " . ونظرا لحدوث تغير طفيف فى تقوس أسطح تساوى الجهد يحدث تبعا لذلك تغير إتجاهات خط الفادن تبعا لهذا التقوس.

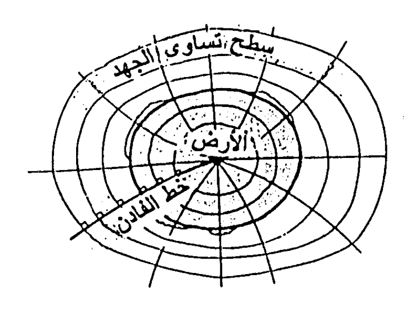
ويوجد علاقه واضحه بين أسطح تساوى الجهد وإتجاه مجال الجاذبيه الأرضيه ، حيث يكونا متعامدين ، كما أن المسافات بين أسطح تساوى الجهد ترتبط إرتباطا مباشرا بقيم الجاذبيه الأرضيه ، حيث تقترب خطوط تساوى الجهد كلما تزايدت قيم مجال الجاذبيه والعكس صحيح (شكل رقم ٨).

<u>الجيــوئيــد :</u> هو أحد أسطح تساوى الجهد ذو الأهميه الخاصه والذى يمثل إرتباطا طبيعيا حيث أنه يغلف الكرة الأرضيه عند المستوى التقريبى لسطح الماء الساكن فى البحار والمحيطات . وتعنى كلمه "جيوئيد" مثيل الأرض فى الشكل ، ويؤخذ كسطح مرجعى للقياسات الجيوديسيه حيث يلعب دوراً رئيسيا فى تعيين الاحداثيات الجيوديسيه وأيضا قياسات الجاذبيه الأرضيه (مجال الجاذبيه الحقيقى أو الفعلى) .

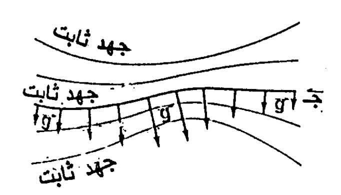
والجيوئيد ، الذى يمثله متوسط سطح البحر يمر تحت اليابسه على عمق يساوى إرتفاعات تضاريس الأرض فوق مستوى سطح البحر ، وله خواص أسطح تساوى الجهد .



شكل رقم (٦) : حركه الأرض وكواكب المجموعه الشمسيه .



شكل رقم (٧) : أسطح الجهد والاتجاه العمودى عليها .



شكل رقم (٨) : توزيع عجلة الجاذبية الأرضيه على أحد أسطح الجهد .

الالبســـويـــد : هو أحد أسطح تساوى الجهد الذى يغلف الكرة الأرضيه ولا يتوافق مع سطح الجيوئيد نظرا لعدم تجانس الأرض وعدم تمام كرويتهـا . ويعتـبر سـطح الألبسـويد أدق سـطح مرجعـى لـلأرض (شكل رقم ٩) . وتسمى المسافه التى تفصل سطح الالبسويد عن سطح الجيوئيد " بالارتفاع الجيوئيدى " أو " التماوج الجيوئيدى " (شـكل رقـم ١٠) ويرمـز لـه بـالرمز (ن) . وينسـب مجـال الجاذبيـه الطبيعـى (القياسى) لسطح الالبسويد .

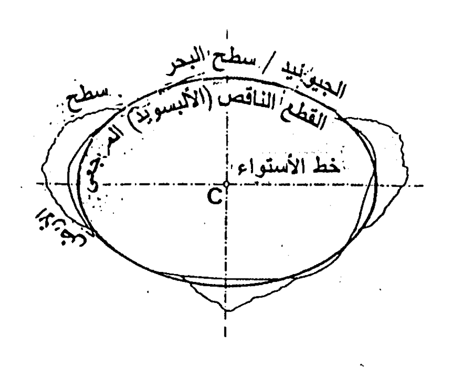
الانحـراف عن العمودى : يلزم قبـل تعريـف الانحـراف عـن العمـودى توضيـح بعـض المصطلحـات المستخدمه لوصف كل من سطح الجيوئيد وسطح الالبسويد:
يسمى سطح الجيوئيد بالسطح الحقيقى لتساوى الجهد ويسمى العمودى عليه بخـط الفـادن الحقيقـى ، كمـا يسمى مجال الجاذبيه المنسوب إليه بمجال الجاذبيه الحقيقى . أما سطح الالبسويد فيسمى بالسطح القياسى لتساوى الجهد ويسمى العمودىعليه بخط الفادن القياسى ويطلق على مجال الجاذبيه المنسوب إليه مجـال الجاذبيه القياسى . لذا يعرف الانحراف عن العمودى بالزاويه ما بين خـط الفـادن الحقيقـى وخـط الفـادن القياسى (شكل رقم ١١) . ولزاويه الانحراف عن العمودى أهميه كبـيره فـى أساسـيات وتطبيقـات علـم الجيوديسيا .

٣) شكل (هيئه) وأبعاد الأرض :

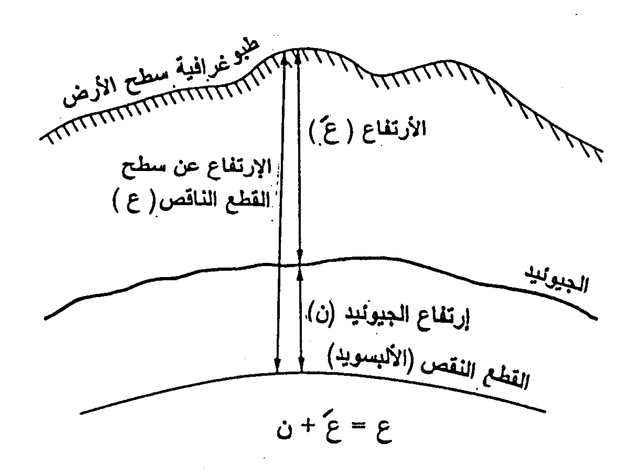
يعتبر تعيين شكل وأبعاد الأرض من المهام الأساسـيه لعلـم الجيوديسـيا . وحتـى يمكـن دراسـه شكل الأرض وأبعادها ، تعامل الأرض كجسم صلب .

الشكل الحقيقى لـلأرض : تسـتخدم الخرائـط الطوبوغرافيـه متعـدده الأنـواع والمقـاييس لوصـف هيئـه وطبيعه الأرض . ويعتبر رسم وإنشاء الخرائط من الاهتمامـات المشـتركه بيـن علـم الجيوديسـيا وإعداد الخرائط، وبمعنى آخر يعتبر إنشاء وإعداد الخرائط من الفروع التطبيقيه لعلم الجيوديسيا .

لوصف تضاريس الأرض ، يلزم إختيار عدد من النقاط التى تمثل هذه التضاريس تمثيلا جيدا وإنشاء نقاط جيوديسيه يتم تعيين إحداثياتها نسبه لأحد أنظمه الاحداثيـات ، ويسـمى مجمـوع هـذه النقـاط بالشبكات الجيوديسيه . وتصنف الشبكات الجيوديسيه إلى أنواع تعتمد على الطريقه المستخدمه فى تعيين إحداثيات نقاطها. وتسمى الشبكات الجيوديسيه المكونه من نقاط جيوديسيه عين لها الاحداثى الرأسى فقط ، نسبه لمتوسط مستوى سطح البحر ، "بالشبكات الجيوديسيه الرأسيه" ، أما الشبكات الجيوديسيه المكونـه من نقاط جيوديسيه عين لهـا الاحداثيـات الأفقيـه (خطـى العـرض والطـول) ،" بالشـبكات الجيوديسـيه الأفقيه " . ويرجع سبب هذا الفصل إلى تباين وإختلاف الطـرق المسـتخدمه فـى قيـاس كـل نـوع منهـا ، حيث يستلزم قياس كـل منهـا إسـتخدام أجهـزه مختلفـه وطرقـا مختلفـه خاصـه منهـا فـى حالـه القياسـات الجيوديسيه الأرضيه .



شكل رقم (٩) : سطح الالبسويد وعلاقته بسطح الجيوئيد وهيئه الأرض .



شكل رقم (١٠) : العلاقه بين إرتفاع الجيوئيد وإرتفاع الالبسويد .

ويلزم للتعرف على هيئه وأبعاد الأرض تعيين إحداثيات النقاط الجيوديسيه فى ثلاث أبعاد (الارتفاع – خط العرض – خط الطول) ورسم خرائط لها . ويمكن الحصول على هذه الاحداثيات من بيانات الشبكات الجيوديسيه الرأسيه (الارتفاعات) وبيانات الشبكات الجيوديسيه الأفقيه (خطى العرض والطول). ومن وجهه النظر الجيوديسيه يفضل إستخدام نقاط جيوديسيه تم تعيين الاحداثيات الثلاثه لها ، إما باستخدام طرق القياسات الجيوديسيه الأرضيه (القياسات الرأسيه، والقياسات الأفقيه) ودمجها معا أو باستخدام القياسات الجيوديسيه الفضائيه التى تمكن من تعيين الاحداثيات الثلاث مباشرة.

٤) تشوهات الأرض مع الزمن :

يتغير شكل الأرض مع الزمن محليا وإقليميا وعلى إمتداد الكرة الأرضيه . ويعتمد هذا التغير على طبيعه الأرض من حيث الصلابه والمرونه .. الخ ، وأيضا على طبيعه القوى المؤثرة على الأرض وطول فترة تأثيرها . ويصاحب التغير فى شكل الأرض مع الزمن تغيراً فى إحداثيات النقاط الواقعه عليها . وعادة ما يسمى التغير فى شكل الأرض مع الزمن بتشوهات الأرض . وتنقسم تشوهات الأرض بالنسبه للزمن إلى :

أ) تغير قرنى ، ويتميز هذا التغير بطول المدى والتدرج .. كما أنه يتميز أيضا بأنه تغير خطى بطىء.

ب) تغير دورى ، ويتميز بأنه تغير منتظم يحدث على فترات دوريه تتراوح ما بين جزء من الثانيه إلى عشرات السنين ،

جـ) تغير عرضى ، وهو تغير فجائى متزايد أو متناقص .

ومن مظاهر تغير شكل الأرض وتشوهاتها ما يلى :

ظاهرة المد والجذر : تحدث هذه الظاهرة نتيجه لقوى الجذب التى تؤثر بها الاجسام السماوية على الأرض ، وتسمى القوى المؤثرة " قوى المد والجذر " . وتؤدي قوى الجذب ،خاصه منها جذب الشمس والقمر ، إلى حدوث تغير دورى فى شكل الأرض وأيضا حدوث تغيرات دوريه صغيرة فى قيم وإتجاه مجال جاذبيتها ، وبالتالى حدوث تشوهات فى سطح الأرض . ومن مظاهر تشوهات سطح الأرض الناتج عن المد والجذرحدوث تقلصات وتمددات دوريه فى المسافات على سطح الأرض وهى تغيرات صغيرة نسبيا لا يمكن مراقبتها بالطرق الجيوديسيه العادية . ويلزم للتعرف على تشوهات سطح الأرض الناتجه عن تأثير المد والجذر إجراء قياسات جيوديسيه دقيقه والرصد المستمر للتغير فى مجال الجاذبيه الأرضيه .

التشوهات الناتجه عن تغير حمل القشرة الأرضيه : تحدث الأحمال المختلفة المؤثرة على سطح الأرض ، لأسباب عدة ، تشوهات إقليميه رأسيه فى قشرة الأرض . ولا يؤثر الحمل الواقع على نقطه ما من سطح الأرض مباشرة أسفل الحمل فقط بل يؤثر أيضا على المناطق المحيطه نتيجه للقوى الجانبيه المؤثرة على الليثوسفير . ويكون الهبوط كبيرا أسفل الحمل مباشرة ويقل تدريجيا مع البعد عن مركز الحمل ، ويصاحب هذا الهبوط إرتفاع فى حواف المنطقه (شكل رقم ١٢) . والعلاقه بين مقدار الهبوط الناتج ومداه عن مركز الثقل تعتمد على طبيعه كل من الليثوسفير ودثار الأرض وأيضا على مقدار الحمل المؤثر.

وهناك العديد من الظواهر الطبيعيه والصناعيه التى تعتبر مصدرا للأحمال على سطح الأرض ، نذكر منها حسب أهميتها ما يلى :

أ) الأحمال الناتجه عن تجمع الثلوج وتغطيتها لمساحات شاسعه فى كندا وإسكندنافيا وسيبيريا والقطب الجنوبى (إنتراكتيكا) . وعلى نفس المستوى من الأهميه أحمال المياه الناتجه عن ذوبان هذه الثلوج ، إلا أنها عند ذوبانها تنتشر على مساحات أكبر من التى تغطيها الثلوج ،

ب) الأحمال الناتجه عن رسوبيات الأنهار الكبيرة وتكون أحواض للترسيب . حيث أنه من المعلوم أن ظاهرة الترسيب من العوامل التى أدت إلى تكون قيعان ترسيب متعدده ، على إمتداد الكرة الأرضيه ، وخلال العصور الجيولوجية المختلفه ،

جـ) الأحمال الناتجه عن المياه فى البحيرات الصناعيه الكبرى ،

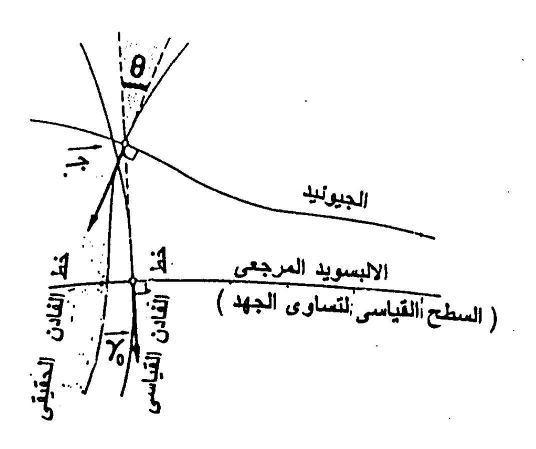
د) الأحمال الناتجه عن المبانى المتعاظمه فى المدن الكبرى ،

هـ) الأحمال الناتجه عن الصهير (الماجما) المكون للطفوح البركانية .

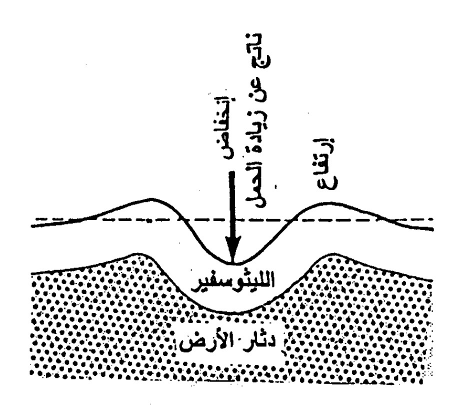
ويمكن من خلال تفهم نظريه التوازن الاستاتيكى للقشرة الأرضيه شرح وتفسير سلوك القشرة الأرضيه وتشوهات سطح الأرض نتيجه لتغير الأحمال الواقعه عليها .

التشوهات التكتونيه : تحدث هذه التشوهات تحت تأثير القوى الداخليه المؤثرة على الأرض والتى أدت إلى تشكل الأرض وتكون عدد من الصفحات التكتونيه . وقد مكنت نظريه الجيوفزيائى الالمانى فيجنر **Wegner** (١٩٢٩) عن تزحزح القارات من تفسير تكسر الليثوسفير إلى عدد من الصفحات التكتونيه التى تطفو على دثار الأرض . مكنت طرق الرصد أيضاً الحديث من مراقبه الحركه النسبيه بين الصفحات التكتونيه . ويمثل الشكل رقم (١٣) ترتيب كتله اليابسه من ٧٥ ، ٥٠ ، ٢٥ مليون سنه مضت . كما يمثل الشكل رقم (١٤) الحدود الحاليه للصفحات التكتونيه الكبيرة .

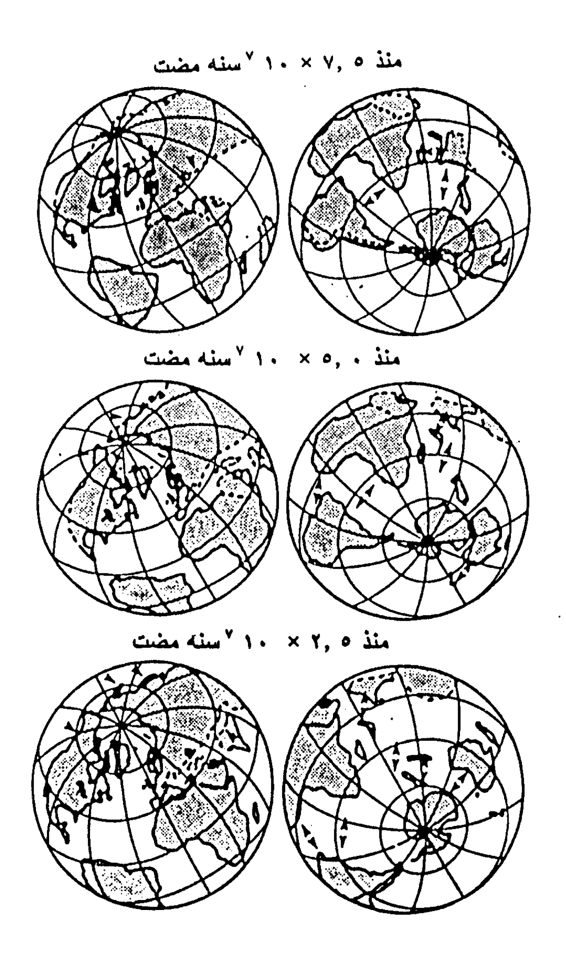
وتتحرك الصفحات التكتونيه فيما بينها حركه نسبيه على حدود التقاء هذه الصفحات . وقد أمكن التعرف على ثلاث أنواع من التحرك على أسطح التقاء هذه الصفحات (شكل رقم ١٥) هى :



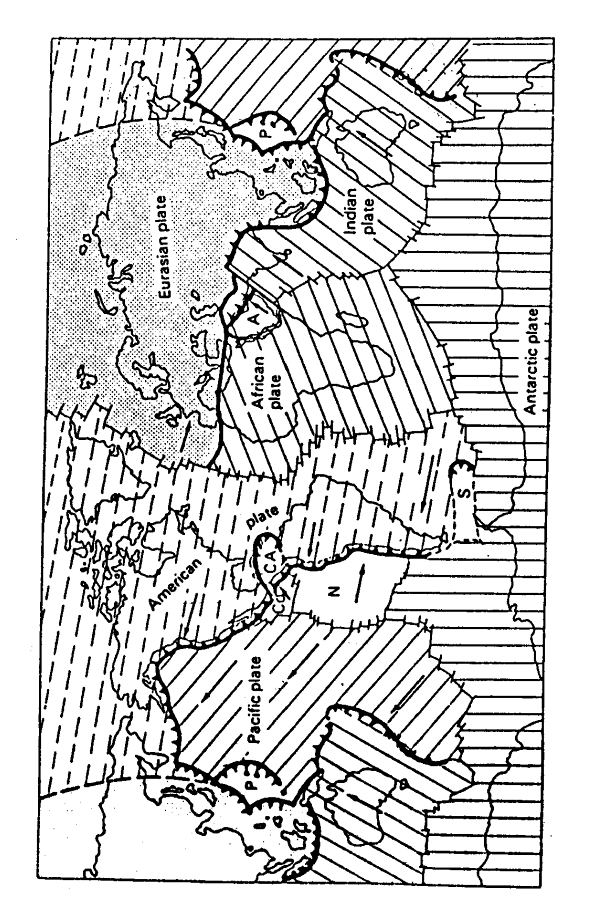
شكل رقم (١١) : الانحراف العمودى .



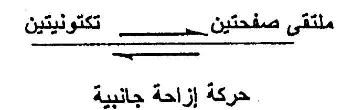
شكل رقم (١٢) : تشوهات قشرة الأرض الناتجه عن الاحمال .

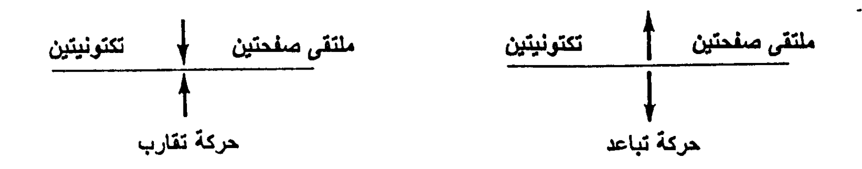


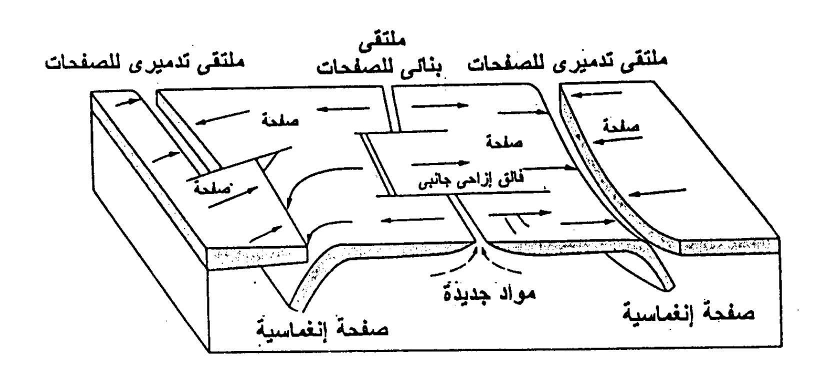
شكل رقم (١٣) : توزيع كتل اليابسه خلال الحقب الجيولوجيه .



شكل رقم (١٤) : الحدود الحالية للصفحات التكتونية الكبيرة.







شكل رقم (١٥) : أنواع حدود التقاء الصفحات التكتونيه .

أ) حركه تباعد أو إنفراج حدود التقاء الصفحات التكتونيه ، ويحدث عنها إنفتاح القشرة الأرضيه وصعود مادة الدثار الأرضى وتصلبها وتكوين طبقه ليثوسفير حديثه . وترتبط هذه الحركه بمناطق النشاط البركانى المتعاظم والطفوح البركانيه الحديثه (شكل رقم ١٦) . ويمثلها السلاسل المحيطية الوسطى المتعاظمه .

ب) حركه تقارب حدود الصفحات التكتونيه . وتحدث نتيجة لتداخل صفحتين تكتونيتين وإنغماس الصفحه المحيطه الأكثر كثافه والأقل سمكا أسفل الصفحه القاريه الأخف كثافه والأكبر سمكا . وينتج عن هذا التداخل تكسر وإنصهار الصفحه المحيطية فى دثار الأرض أسفل الصفحه القاريه . وعاده ما ينتج عن التصادم بين الصفحات التكتونيه تكون خندقا على إمتداد حد التقاء الصفحتين وحدوث إنتفاخ عند حافه الصفحه القاريه (شكل رقم ١٧) ، كما يحدث نشاط زلزالى بمناطق تصادم الصفحتين التكتونيتين .

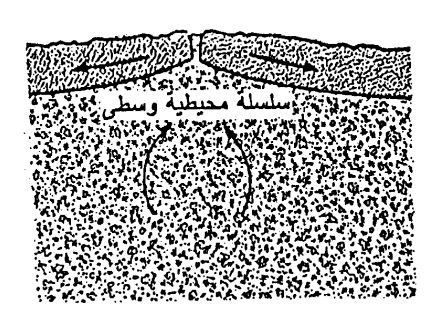
جـ) حركه إنزلاق جانبى على أسطح التقاء الصفحات التكتونيه . وعادة ما تصاحب هذه الحركه حركات التباعد أو التقارب بين الصفحات التكتونيه (شكل رقم ١٨) .

ونتيجه لحركه الصفحات التكتونيه وحدوث ضغوط جانبيه على القشرة الأرضيه يحدث تشوهات أخرى مثل الانخفاضات العظمى فى القشرة الأرضيه وتكون الطيات المحدبه والمقعرة (شكل رقم ١٩) ، وأيضا تكون الفوالق بأنواعها المختلفه .

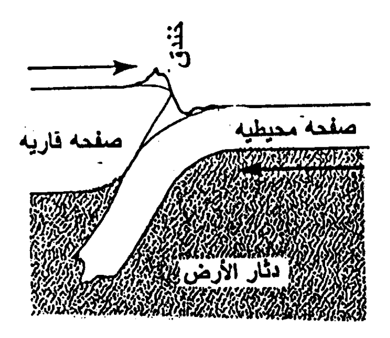
وقد مكنت التقنيات الجيوديسية الحديثة من دراسه الحركه النسبيه بين الصفحات التكتونيه ودراسه وتحديد مناطق التقاء هذه الصفحات ومراقبه حركه الفوالق النشطه ودراسه توزيع الضغوط على القشرة الأرضيه.

<u>التشوهات الناتجه عن الأنشطه البشريه :</u> تحدث هذه التشوهات فى الطبقات العليا للقشرة الأرضيه نتيجه لتأثر سطح الأرض بالانشطه البشريه كبناء السدود والبحيرات الصناعيه والمبانى المتعاظمه الارتفاع وسحب السوائل (المياه والبترول) والغازات من تحت الأرض وضع المخلفات تحت طبقات الأرض ووجود فراغات تحت سطحيه كبيرة . وتظهر هذه التشوهات على شكل هبوط أو إنتفاخ فى سطح الأرض وعلى إمتداد محلى أو إقليمى .

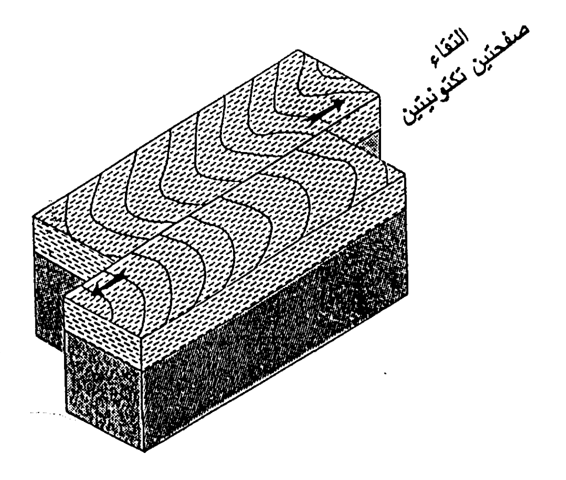
وتساعد القياسات الجيوديسيه الدقيقه فى مراقبه مثل هذه التشوهات كما تساعد القياسات التثاقليه الدقيقه أيضا فى دراسه هذه الظاهرة.



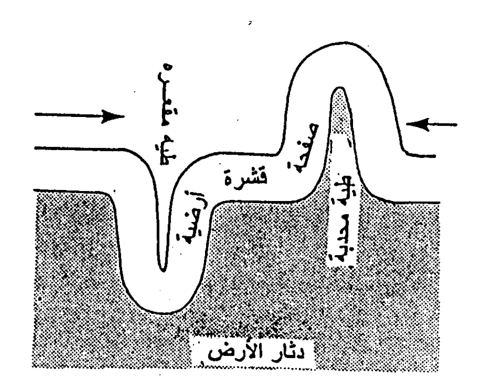
شكل رقم (١٦) : حركة التباعد (الأنفراج) بين الصفحات التكتونية.



شكل رقم (١٧) : حركة التقارب (الإلتقاء) بين الصفحات التكتونية .



شكل رقم (١٨) : حركة الأنزلاق على أسطح التقاء الصفحات التكنونية .



شكل رقم (١٩) : تكون الطيات وأحواض الترسيب .

تعيين الاحداثيات

١) تعيين إحداثيات نقطه :

لتعيين إحداثيات نقطه ما على سطح الأرض ، سواء على اليابسه أو البحر ، يجرى تعيين كـل من زاويه خط العرض ، زاويـه خـط الطـول والإرتفـاع . ويتم ذلـك بإسـتخدام أحـد أنظمـه الاحداثيـات الأرضيه والتى تأخذ أشكالا متنوعه ، كما يمكن التحويـل مـن إحداثـى معيـن إلـى إحداثـى آخـر بتطبيـق عمليات رياضيه محددة .

أنظمه الاحداثيات المرجعيه :

تتعدد وتتنوع أنظمه الاحداثيات المرجعيه ، والتى يمكن أن ينسب إليها إحداثيات نقطه ما علـى سطح الأرض (خط العرض ، خـط الطـول ، الارتفـاع) . وتعتـبر أنظمـه الاحداثيـات التاليـه مـن أهـم أنظمه الاحداثيات المستخدمه فى علم الجيوديسيا وتطبيقاته المختلفه :

أ) الاحداثيات (الطبيعيه) الفلكيه : يتم تعيينها بإستخدام الرصد الفلكى للنجوم (نجمين على الأقـل)، وتنسب الاحداثيات الفلكية (خط العرض ، خط الطول ، الارتفاع) لسـطح الجيوئيـد (متوسـط مسـتوى سطح البحر) ومحور الدوران الرئيسى لـلأرض . ولاجـراء الرصـد الفلكـى للنجـوم يسـتعان بعـدد مـن الأجهزه نذكر منها أجهزه التيودوليت الدقيقه وأجهزه تعيين الوقت بدقه عاليه .

ب) الاحداثيات الجيوديسيه : تنسب الاحداثيات الجيوديسيه لسطح الالبسويد ، ويتم تعيينها من الرصد الفلكـى وإسـتخدام العلاقـه بيـن سـطح الالبسـويد المرجعـى وسـطح الجيوئيـد . وتسـتخدم الاحداثيـات الجيوديسيه كثيرا فى علم الجيوديسيا وتطبيقاته خاصه منهـا رسـم الخرائـط الجغرافيـه والطوبوغرافيـه . وقد إستحدث نظام الاحداثيات الجغرافيه (شكل رقم ٢٠) من نظام الاحداثيات الجيوديسيه .

فى الاحداثيات الجغرافيه (شكل رقم ٢٠) تسمى خطوط العرض بالموازيات وتمثل على سـطح الالبسويد بدوائر صغيره ، أمـا خطـوط الطـول فتسـمى بخطـوط الـزوال وتمثـل علـى سـطح الالبسـويد بقطاعات ناقصه . ويكون خط العرض مساويا للصفر عنـد خـط الاسـتواء ومسـاويا ٩٠ ° عنـد كـل مـن القطبين . أما خط الطول فيكون مساويا للصفر على الخط المار بمرصـد جرينتش (المملكـه المتحـده) ويتدرج إلى ١٨٠ ° فى إتجاه الشرق و١٨٠ ° فى إتجاه الغرب .

جـ) الاحداثيات المتعامده (الكارتيزيه) : ويستخدم فيها نظام الاحداثيات الثلاثيه المتعامدة والمنشأه على مركز تثاقل الأرض ، ويمكن حسابها من الاحداثيات الجيوديسيه .

٢) تعيين الاحداثيات النسبيه :

نعنى هنا بتعيين الاحداثيات النسبيه ، تعيين إحداثيات نقطه ما بالنسبه لاحداثيات نقطه أخرى معلومه الاحداثيات . وتعيين الاحداثيات النسبيه أكثر سهوله من تعيين الاحداثيات المرجعيه . وهناك طرق عده لتعيين الاحداثيات النسبية ، نذكر منها :

أ) تعيين الاحداثيات النسبيه فى ثلاث أبعاد : يمكن تعيين الاحداثيات النسبيه فى ثلاث أبعاد (خط العرض ، خط الطول ، الارتفاع) باستخدام أحد طرق القياسات الجيوديسيه الأرضيه أو أحد طرق القياسات الجيوديسيه الفضائيه :

إستخدام طرق القياسات الجيوديسيه الأرضيه : يتم تعيين إحداثيات النقاط المطلوبه نسبه إلى إحداثيات نقطه ما معلومه الاحداثيات تم تعيين إحداثياتها فلكيا . ويجرى ذلك من خلال إجراء القياسات فيما بين هذه النقاط والنقطه المعلومه الاحداثيات .

إستخدام طرق القياسات الجيوديسيه الفضائيه : يجرى تعيين إحداثيات النقاط بالنسبه لبعضها البعض باستخدام طرق القياسات الجيوديسيه الفضائيه . ويتم ذلك من خلال القياس المتزامن لهذه النقاط. ومن الطرق الجيوديسيه الفضائيه المستخدمه فى تعيين الإحداثيات :

- بث وتوجيه أشعه الليزر إلى الأقمار الصناعيه ذات المرايا العاكسه وإعادة إستقبال هذه الموجات ،
- إستقبال الموجات الراديويه المنبعثه من أشباه النجوم فى الفضاء السحيق ،
- إستخدام أجهزة مستقبلات النظام العالمى لتعيين الإحداثيات والمعروف باسم GPS .

ب) تعيين الاحداثيات النسبيه فى بعدين أفقيين : يتم تعيين الإحداثيات النسبية للنقاط فى بعدين أفقيين فقط (خط العرض ، خط الطول) باستخدام أحد طرق القياسات الجيوديسيه الأرضيه أو أحد طرق القياسات الجيوديسيه الفضائيه . فى طرق القياسات الجيوديسيه الأرضيه يمكن قياس الزوايا والمسافات التى تشكلها هذه النقاط مع نقطة معلومه الاحداثيات وحساب إحداثيات النقاط المطلوبه نسبه إلى النقطه معلومه الاحداثيات .

جـ) تعيين الاحداثيات الرأسيه النسبيه : يمكن تعيين الاحداثى الرأسى النسبى (الارتفاع) لنقطه ما نسبه لنقطه معلومه الارتفاع وذلك بقياس فرق الارتفاع بين النقطتين . ويمكن ذلك من خلال :

- قياس زاويه السمت للنقطتين باستخدام التيودولبت ثم حساب فرق الارتفاع بين النقطتين ،
- إستخدام أحد الطرق الجيوديسيه لقياس فرق الارتفاع بين النقطتين ومنها القياسات الجيوديسيه الرأسيه (الميزانيه) .

القياسات الجيوديسيه الرأسيه (الميزانيه) : تستخدم القياسات الجيوديسيه الرأسيه (الميزانيه) لتعيين فرق الارتفاع بين نقطه معلومه الارتفاع ونقطه أخرى يلزم تعيين الاحداثى الرأسى لها . وللحصول على نتائج دقيقه من قياسات الميزانيه يتم إتباع عدد من الاحتياطات وإجراء عدد آخر من التصحيحات الخاصه بالانحراف عن العمودى والانكسار الحرارى ... الخ .

٣) الشبكات الجيوديسيه :

لوصف طوبوغرافيه الأرض وأغراض التطبيقات الجيوديسيه المتنوعه ، تجرى القياسات الجيوديسيه عادة على عدد من النقاط الجيوديسيه تكون تنظيما فيما بينها يسمى " شبكه جيوديسيه " . وتتعدد أنواع الشبكات الجيوديسيه وأغراضها . وتجرى القياسات الجيوديسيه لهذه الشبكات عادة على نقاط ثابته يتم إنشاؤها. وترجع أهميه تثبيت وإنشاء هذه النقاط إلى تسهيل تكراريه قياس هذه الشبكات.

وتسمى الشبكات الجيوديسيه تبعًا للإحداثي الذي يجري قياسه وتعيينه ، وهى ثلاث أنواع :
- الشبكات الجيوديسيه ثلاثيه الأبعاد .
- الشبكات الجيوديسيه الرأسيه .
- الشبكات الجيوديسيه الأفقيه .

أ) الشبكات الجيوديسية ثلاثية الأبعاد : وهى الشبكات التى يجرى تعيين الإحداثيات الثلاث (خط العرض ، خط الطول ، الارتفاع) لنقاطها . وتنقسم هذه الشبكات حسب طرق تعيين إحداثيات نقاطها إلى شبكات جيوديسيه للقياسات الأرضيه (الزوايا والمسافات) والقياسات الفلكيه ، وشبكات جيوديسيه لأغراض التصوير الجوى وشبكات جيوديسيه للقياسات الفضائيه خاصه منها مستقبلات النظام العالمى لتعيين الاحداثيات (GPS).

الشبكات الجيوديسيه الأرضيه : ويستخدم فى قياس هذه الشبكات الطرق الجيوديسيه الأرضيه وأجهزة القياسات الجيوديسيه الأرضيه . ويتم تعيين الاحداثيات الثلاث (خط العرض ، خط الطول ، الارتفاع) لنقاط هذه الشبكات نسبه لنقطه معلومه الاحداثيات (تم تعيين إحداثياتها الفلكيه) ، وذلك من خلال قياس المسافات والزوايا التى تشكلها نقاط هذه الشبكات وكذلك فروق الارتفاعات بين هذه النقاط.

شبكات التصوير الجوى : يستخدم التصوير الجوى فى الجيوديسيا عادة لاغراض تكثيف نقاط الشبكات الجيوديسيه وتوسيع رقعتها وذلك من خلال تداخل الصور المنشأ عليها عدد من النقاط الجيوديسيه الأساسيه وعدد آخر من النقاط التى يلزم تكثيف الشبكه بها أو توسيع مداها . وتستخدم إحداثيات النقاط الجيوديسيه الأساسيه ونظام إحداثياتها للحصول على بيانات عن إحداثيات النقاط الجيوديسيه الجديدة (المكثفة) وعلى نفس نظام إحداثيات النقاط الأساسية.

الشبكات الجيوديسيه الفضائيه : ويستخدم فى قياس هذه الشبكات الطرق الجيوديسيه الفضائيه وأجهزة القياسات الجيوديسيه الفضائيه وأهمها مستقبلات النظام العالمى لتعيين الإحداثيات (GPS). ويجرى تعيين إحداثيات الشبكات الجيوديسيه باستخدام هذه الأجهزه ومن خلال القياس المتزامن لنقاط الشبكه الواحده بأحد الطرق المستخدمه فى القياسات الجيوديسيه الفضائيه .

ب) **الشبكات الجيوديسيه الأفقيه :** وهى الشبكات التى يجرى تعيين الاحداثيات الأفقية (خط العرض، خط الطول) لنقاطها ، والتى يتم تعيينها من الطرق الفلكية بالاضافه إلى قياس المسافات والزوايا التى تشكلها نقاط هذه الشبكه. وعادة ما يجرى تثبيت وإنشاء هذه النقاط وتعيين إحداثياتها نسبة إلى سطح الالبسويد (الاحداثيات الجيوديسيه) ، كما يجرى تعيين الأرتفاعات التقريبيه لنقاط هذه الشبكه أو عدد منها . وتنسب إحداثيات هذه الشبكات لما يسمى " المستوى الجيوديسى الأفقى ".

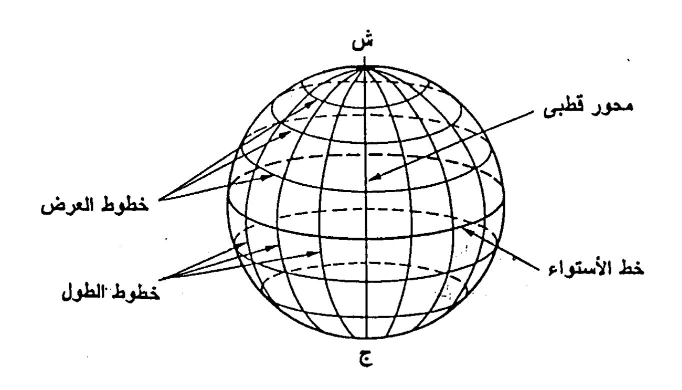
المستوى الجيوديسى الأفقى :

يعرف المستوى الجيوديسى الأفقى بمستوى الألبسويد المرجعى وهو الذى ينسب إليه الإحداثيات الجيوديسيه الأفقيه (خط العرض ، خط الطول) لنقطة ما على سطح الأرض أو لنقاط شبكه جيوديسيه . ويمكن معرفة هذا المستوى من تحويل إحداثيات النقطة الجيوديسية والشبكة الجيوديسية إلى أى نظام إحداثيات آخر.

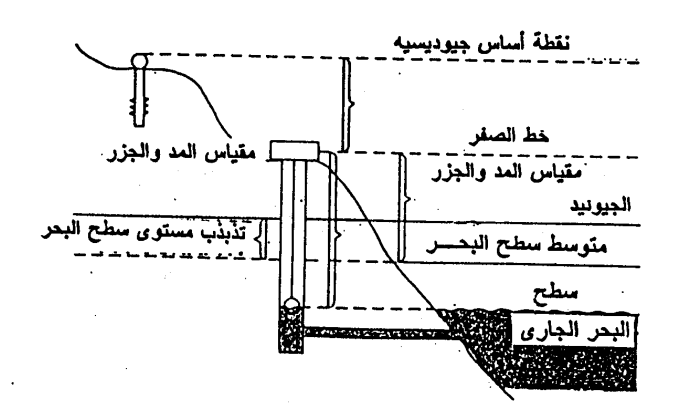
جـ) **الشبكات الجيوديسيه الرأسيه :** وهى الشبكات التى يجرى تعيين الاحداثى الرأسى (الأرتفاع) فقط لنقاطها، كما يجري تعيين الإحداثيات الأفقية التقريبية لنقاط الشبكة أو عدد منها بغرض تحديد مواقعها. ومع سهولة القياسات الرأسيه عن القياسات الأفقيه إلا أنه يلزم أخذ عدد من الاحتياطات عند إجراء هذه القياسات خاصة منها تأثير مجال الجاذبية الأرضيه وتأثير الأنكسار الحرارى . وينسب الاحداثى الرأسى (الأرتفاع) لما يسمى " المستوى الجيوديسى الرأسى " .

المستوى الجيوديسى الرأسى : عند إجراء القياسات الرأسيه تنسب الأرتفاعات الارثومتريه إلى سطح الجيوئيد بينما تنسب الارتفاعات الحقيقيه (الطبيعيه) إلى شبه الجيوئيد . ونظرا لتوافق سطح الجيوئيد مع شبه الجيوئيد بالمناطق البحريه يؤخذ متوسط مستوى المياه فى البحار كمستوى رأسى تنسب إليه قياسات الأرتفاعات.

ولتعيين المستوى الجيوديسى الرأسى يتم إنشاء نقاط عياريه للميزانيه على الشواطىء بالقرب من أجهزة قياس المد والجذر (شكل رقم ٢١) . ويجرى قياس نقاط الميزانيه العياريه وضبط إرتفاعاتها بناء على بيانات أجهزة المد والجذر وإستخدامها فى تعيين متوسط مستوى المياه فى البحار والمحيطات. وتنسب قياسات الإحداثى الرأسى لنقاط الشبكات الجيوديسيه (فروق الإرتفاعات) إلى نقاط الميزانيه العياريه القريبه من هذه الشبكات .



شكل رقم (٢٠) : نظام الاحداثيات الجغرافى (خطوط العرض وخطوط الطول) .



شكل رقم (٢١) : نقطه إرتفاعات مرجعيه وأجهزة المد والجذر

أجهزة القياسات الجيوديسية

لتعيين إحداثيات النقاط الجيوديسيه أو تعيين الإحداثيات النسبيه للنقاط الجيوديسيه وقياس الشبكات الجيوديسيه المختلفه يوجد العديد من أجهزة القياسات الجيوديسيه متعددة الأغراض . وتنقسم أجهزة القياسات الجيوديسيه حسب أسلوب إستخدامها إلى أجهزة القياسات الجيوديسيه الأرضيه وأجهزة القياسات الجيوديسيه الفضائيه .

١) أجهزة القياسات الجيوديسيه الأرضيه :

فى القياسات الجيوديسيه الأرضيه يتم الفصل بين القياسات الرأسيه والقياسات الأفقيه . ويستخدم فى القياسات الجيوديسيه الأرضيه عدد متنوع من الأجهزه والمعدات منها : البوصله – السلاسل المعدنيه – الشرائط المدرجه ، التيودوليت ذو الورنيه – التيودوليت البصرى – التيودوليت الألكترونى – الأجهزه المتنوعه لقياس المسافات – أجهزة قياس فروق الأرتفاعات (الميزانيه) – قامات المساحه . وسوف نعرض فيما يلى لعدد من الأجهزه الأساسيه المستخدمه فى القياسات الجيوديسيه الرأسيه والقياسات الجيوديسيه الأفقيه.

أ) أجهزة القياسات الجيوديسيه الرأسيه : لإجراء القياسات الجيوديسيه الرأسيه (فروق الأرتفاعات) تستخدم موازين المساحه وقامات الميزانيه .

موازين المساحه : أجهزه دقيقه تستخدم فى قياس فرق الأرتفاع بين نقطتين جيوديسيتين أو عدد من النقاط . وتعتمد دقة تعيين فروق الارتفاعات على نوع الموازين المستخدمه فى القياسات وأيضاً على نوع قامات الميزانيه . ومن أهم أنواع الموازين المستخدمه فى قياس فروق الأرتفاعات الميزان البصرى والميزان الأتوماتيكى .

ميزان المساحه البصرى : يستخدم الميزان البصرى لقياس فروق الأرتفاعات على إمتداد مسافات طويله ، ويوجد منها أجهزه متطوره لها قوة التكبير المتطلبه لقراءة تدريج قامات الميزانيه كما انها لا تتأثر بالتداخل الضوئى ، وهما مطلبان أساسيان يلزم توافرهما في الأجهزه البصريه لقياسات الميزانيه.

ويتكون ميزان المساحه البصرى فى أبسط صوره (شكل رقم ٢٢) من تلسكوب لتكبير قراءة قامات الميزانيه على مسافات ملائمه لاعمال القياسات الجيوديسيه ووسيله يحتوى على فقاعات مائيه متعامده كوسيلة لتوازن المحور البصرى لميزان المساحه فى وضع أفقى.

ميزان المساحه الأوتوماتيكي : يختلف ميزان المساحه الاوتوماتيكي عن الميزان البصرى فى إشتمال تلسكوب الميزان الأوتوماتيكي على وسيله بصريه – ميكانيكيه تعمل على إتزان التلسكوب ووضع محورة البصرى أفقياً.

وتساعد هذه الوسيله على إتزان التلسكوب فى وضع أفقى فى أقل زمن بعد ضبطه التقريبي أفقيًا. ويمكن ذلك من سرعة أداء القياسات بالمقارنه بالميزان البصرى ، كما يعمل الميزان الأوتوماتيكى على ملاشاة الاخطاء الناجمه عن إنحراف محور التلسكوب عن وضعه الأفقى.

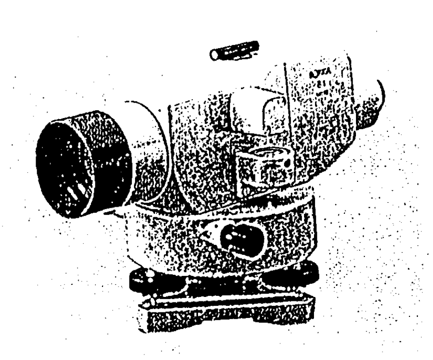
قامات الميزانيه المدرجه: تستخدم قامات الميزانيه المدرجه مع موازين المساحه لتعيين فروق الأرتفاعات ويوجد أنواع متعددة من قامات الميزانيه المدرجه فمنها الخشبى ومنها المعدنى، وبعضها مكون من قطعة واحدة والأخرى من قطعتين منزلقتين أو ثلاث قطع يمكن طيها. ويأخذ تدريج قامات الميزانيه علامات مختلفة الشكل ، ويمكن قراءة التدريج حتى ١ ٠٠و٠ م . وبعض قامات الميزانيه مجهزه بوسيلة إتزان (نقطة مياه) لتسهيل وضعها رأسياً.

قامات الميزانيه الدقيقه : لإجراء القياسات الرأسيه الدقيقه (الميزانيه الدقيقه) تستخدم قامات الميزانيه المعدنيه ذات شريحه الأنفار المدرجه على جانبيها (شكل رقم ٢٣) .

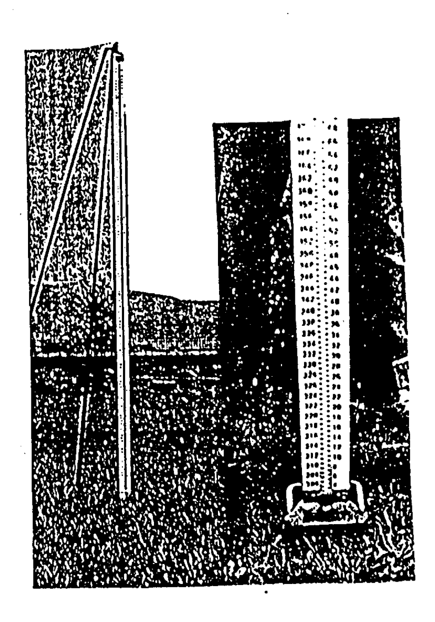
ب) **أجهزة القياسات الجيوديسيه الأفقيه** : لإجراء القياسات الجيوديسيه الأفقيه اللازمه لتعيين الإحداثيات الأفقيه (خط العرض ، خط الطول) تستخدم أجهزة التيودوليت لقياس الزوايا الأفقيه والرأسيه التى يشكلها تنظيم النقاط الجيوديسيه أو الشبكات الجيوديسيه كما تستخدم أجهزة قياس المسافات لتعيين أطوال الأضلاع الموصله بين النقاط الجيوديسيه (أضلاع الشبكه الجيوديسيه) .

أجهزة التيودوليت : تستخدم أجهزة التيودوليت لقياس الزوايا الأفقيه والرأسيه . وتعتبر أجهزة التيودوليت من أهم وأدق أجهزة القياسات الجيوديسيه الأرضيه على الإطلاق . ويوجد العديد من أجهزة التيودوليت للأستخدامات المختلفه والتى تتنوع فى دقتها .

وكمثال مبسط لتوضيح أساس عمل التيودوليت فى قياس الزوايا الأفقيه والزوايا الرأسيه نعرض الشكل رقم (٢٤) حيث يمثل هذا الشكل النقطتان أ ، د الموجودتين فى مستويين مختلفين (هبوط وإرتفاع) عن مستوى أفقى مثبت فيه التيودوليت ويمثله النقطه ن على إرتفاع قدره (ع) من نقطة القياس م . تكون الزاويه الأفقيه بين النقطتين أ ، د عند النقطه ن هى نفسها الزاويه ب ن ج حيث أن النقطتين ب ، ج هما مسقط النقطتيين أ ، د على المستوى الأفقى المار بالنقطه ن . أما الزاويه الرأسيه بين النقطتين أ ، د فهى مجموع الزاويتين الرأسيتين أ ن ب (زاوية ارتفاع)، د ن ج



شكل رقم (٢٢) : أحد أجهزة قياسات الميزانيه (ميزان المساحه)



شكل رقم (٢٣) : قامات الميزانية الدقيقه (إنفار)

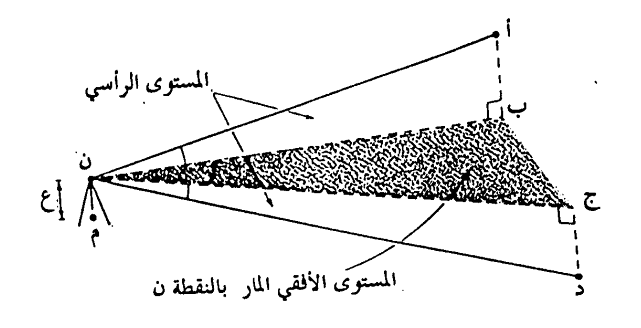
(زاوية هبوط) . ومن الواضح أن الزاويه المقاسه عند النقطه ن (موضع التيودوليت) هى نفسها الزاوية الأفقيه عند وضع التيودوليت عند النقطه م . أما الزاويه الرأسيه المقاسه عند النقطه ن فتختلف عن الزاويه الرأسيه عند النقطه م ، ويلزم لحساب الزاويه الرأسسيه عند النقطه م أخذ إرتفاع حامل التيودوليت (ع) فى الأعتبار .

وتتشابه جميع أجهزة التيودوليت فى تركيبها وطرق إستخدامها (شكل رقم ٢٥) إلا أنها تختلف فى الأسلوب المستخدم لقراءة الزوايا الرأسيه والزوايا الأفقيه ، فمنها الأجهزة البصريه ومنها الأجهزه الألكترونيه. ويتركب التيودوليت فى أبسط صوره من تلسكوب ذو قوة تكبير ملائمه وتدريج رأسى لحركة دوران التلسكوب حول محوره الأفقى (لقياس الزوايا الرأسيه) وتدريج أفقى لحركة دوران التيودوليت حول محورة الرأسى (لقياس الزوايا الأفقيه) ، وكل تدريج منهما مقسم إلى ٣٦٠ ° .

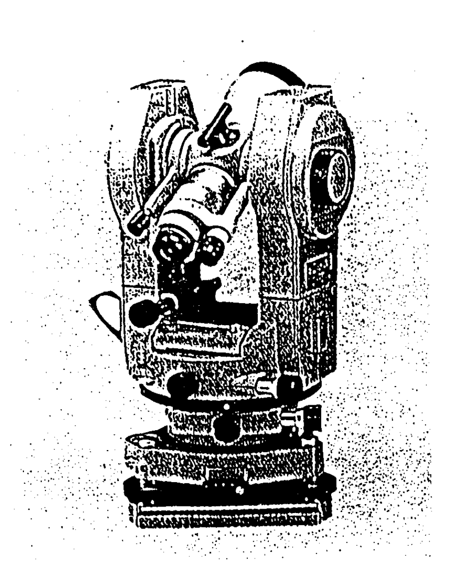
<u>الأجهزه الألكترونيه لقياس المسافات :</u> كان القياس الدقيق للمسافات ، حتى الماضى القريب ، من أصعب طرق القياسات الجيوديسيه . وقد ساعد التطور السريع للأجهزه الألكترونيه لقياس المسافات ، خلال العقود الثلاث الماضيه ، على سهولة وزيادة دقة قياس المسافات ، خاصة منها المسافات الطويله. أمكن أيضا إستخدام أجهزة التيودوليت المثبت عليها الأجهزه الألكترونيه لقياس المسافات فى قياس الشبكات الجيوديسيه التى تغطى مساحات كبيرة .

ولقياس المسافات باستخدام الأجهزة الألكترونيه لقياس المسافات يوضع الجهاز عند أحد طرفى الخط المراد قياس طوله ويوضع عدد من العواكس الخاصه بالجهاز عند الطرف الآخر بحيث لايعترض المسار الواصل بين الجهاز والعواكس أية عوائق (شكل رقم ٢٦) . ينبعث شعاع كهرومغناطيسى من الجهاز تجاه العواكس فينعكس بعضه إلى الجهاز . من مقارنة الشعاع المنبعث والشعاع المستقبل يمكن حساب المسافه المطلوبه .

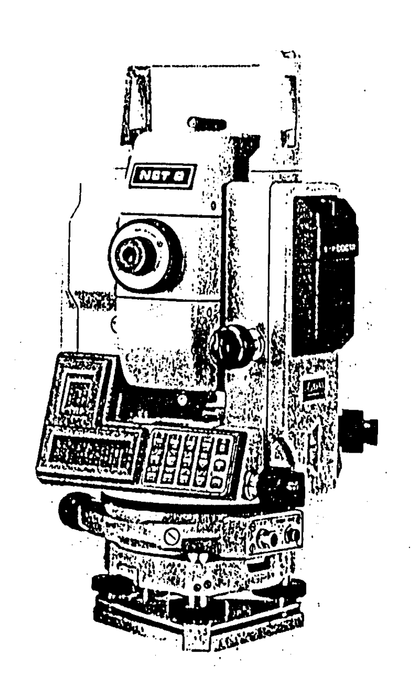
تتنوع حالياً الأجهزه الألكترونيه لقياس المسافات فى طبيعة عملها وتختلف فى درجة دقتها وأطوال المسافات التى يمكن إستخدامها فى قياسها، كما تختلف أنواع العواكس المستخدمه مع كل منها. وبعض هذه الأجهزه يمكن إستخدامه مثبتا على أجهزة التيودوليت والبعض الآخر يستخدم مثبتا على الحوامل مباشرة دون ما حاجة إلى أجهزة التيودوليت . وتنقسم أنواع الأجهزه الألكترونيه لقياس المسافات حسب نوع الموجات المستخدمه فى (المنبثقة من) كل جهاز منها الى :

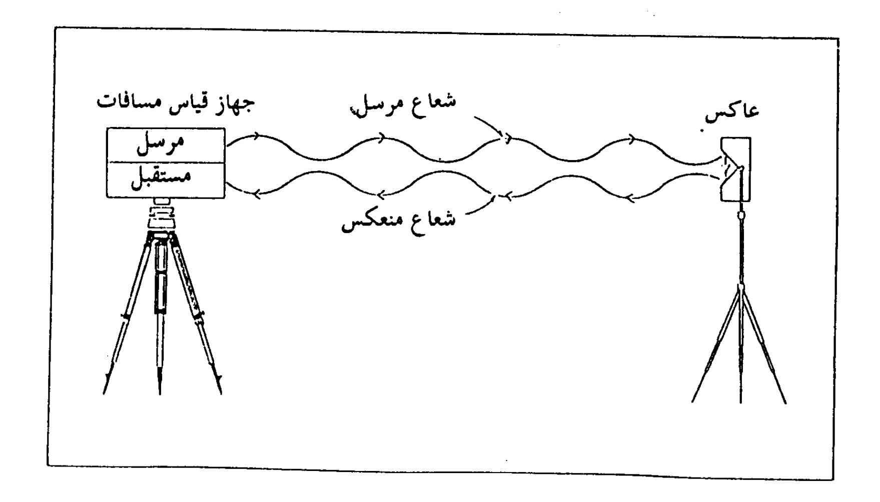


شكل رقم (٢٤) : أساسيات عمل جهاز التيودوليت.



شكل رقم (٢٥) : أحد الأجهزة التيودوليت





شكل رقم (٢٦): أحد الأجهزة الإلكترونية لقياس المسافات ونظام عملها

- أجهزة الموجات الدقيقه ،
- أجهزة الموجات الكهروضوئيه ،
- أجهزة الموجات فوق الحمراء ،
- أجهزة أشعة الليزر .

ويوجد من الأجهزه الألكترونيه لقياس المسافات ما يسمى " المحطه الجيوديسيه الكاملة "حيث يتوافق عمل جهاز التيودوليت المثبت عليه جهاز قياس المسافات مع الجهاز الالكترونى لقياس المسافات ، ويمكن ذلك من تعيين المسافات الأفقيه . حيث انه فى الواقع يمكن جهاز قياس المسافات من قياس المسافه المباشرة (المائله) بين نهايتى الخط المراد قياسه ، كما يمكن التيودوليت من قياس الزاويه الرأسيه ، ويقوم الحاسب المثبت بالجهاز بحساب المسافه الأفقيه . ويمكن من خلال شاشة قراءات الجهاز الحصول على البيانات المقاسه وكذا البيانات المحسوبه .

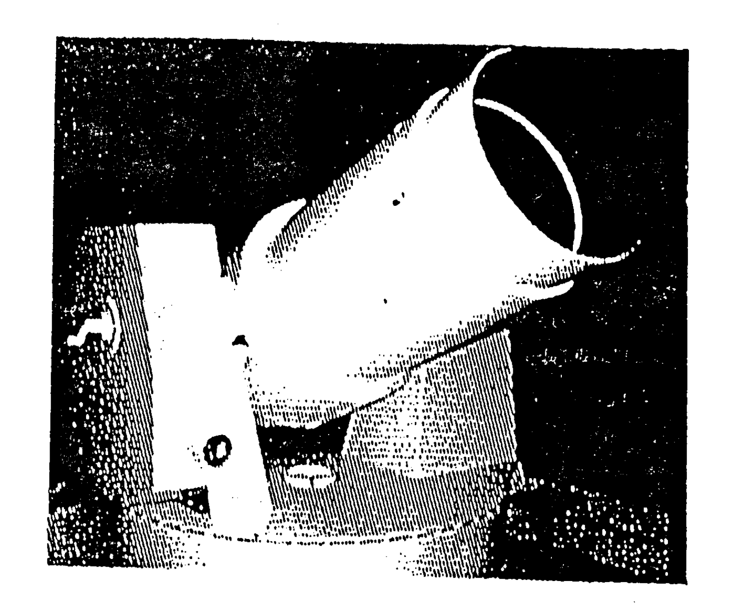
٢) أجهزة القياسات الجيوديسيه الفضائيه :

تستخدم تقنيات إستقبال الموجات الراديويه المنبعثه من بعض الأجرام السماويه السحيقه وتقنيات الأقمار الصناعيه لتعيين إحداثيات نقطة جيوديسيه ، أو تعيين الإحداثيات النسبيه لعدد من النقاط الجيوديسيه وأيضا قياس الشبكات الجيوديسيه . ويمكن فى هذا المقام ذكر ثلاث أنواع من التقنيات المستخدمه فى تعيين الإحداثيات بالطرق الفضائيه .

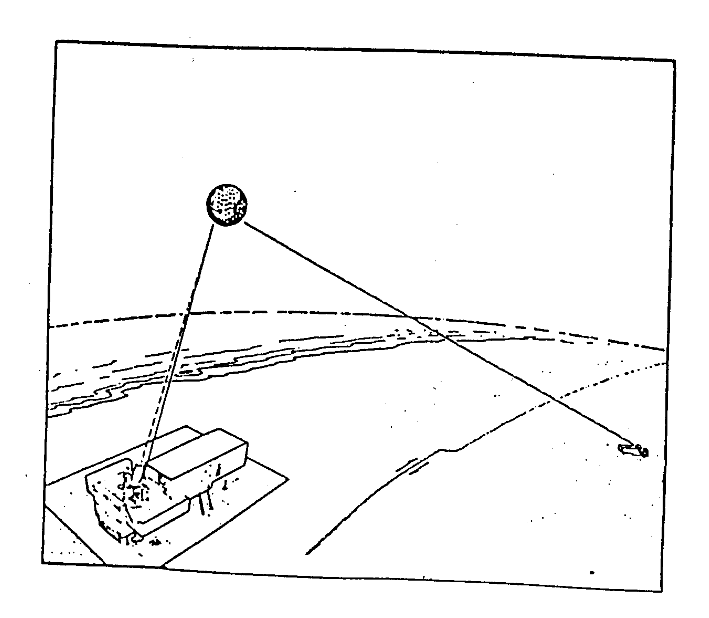
أجهزة بث وإستقبال الموجات الكهرومغناطيسيه (أشعة الليزر) إلى ومن الأقمار الصناعيه:

فى هذه التقنيه يتم بث أشعة الليزر من خلال تلسكوبات خاصه إلى نوع من الأقمار الصناعيه مجهز بمرايا عاكسه ويسمى ' لاجوس ' ، وإعادة استقبال هذه الموجات بواسطة نفس التلسكوب (شكل رقم ٢٧). وتستخدم هذه التقنيه المتقدمه لتعيين إحداثيات النقطه المثبت عليه محطة البث الليزرى (شكل رقم ٢٨) بدقه عاليه . ويوجد من هذا النوع من المحطات ماهو مثبت بصفه دائمه وما يمكن تحريكه من مكان لآخر (محطة متنقلة) ، وهذه التقنيه مرتفعة التكلفه خاصه منها أجهزة البث الليزرى.

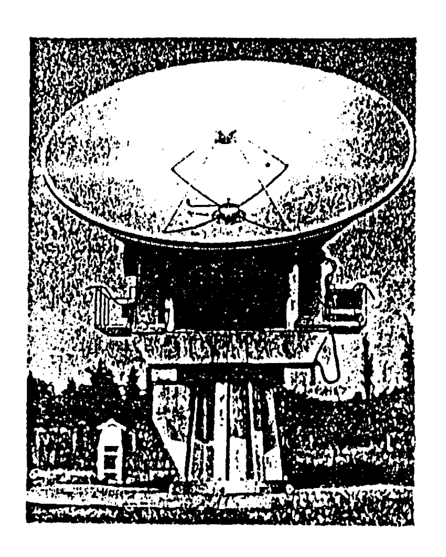
أجهزة إستقبال الموجات الراديويه المنبعثه من الفضاء السحيق : تستخدم محطات إستقبال الموجات الراديويه المنبعثه من الفضاء السحيق ، والمكونه من مستقبلات هوائيه على هيئة أطباق ذو قطر كبير (شكل رقم ٢٩) وأجهزه لتقويه الموجات المستقبله ، من تعيين إحداثيات موقع المحطه فى ثلاث أبعاد (خط العرض ، خط الطول ، الأرتفاع) . وتعتمد هذه التقنيه على إستقبال الموجات المنبعثه من بعض أشباه النجوم فى المجرات الخارجيه المنتشرة فى الفضاء السحيق . ويمكن أيضا قياس المسافه التى يمثل طرفاها محطتين راديويتين (شكل رقم ٣٠) بدقة عاليه ، فيما يسمى بخط الأساس الراديوى الطويل (LBI) ، وخط الأساس الراديوى متناهى الطول (VLBI) .



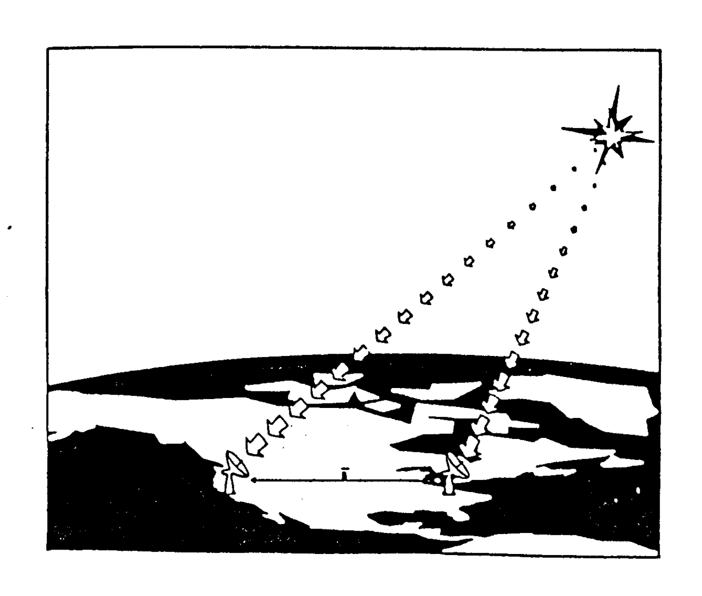
شكل رقم (٢٧) : أحد أجهزة البث الليزرى للاقمارالصناعيه SLR



شكل رقم (٢٨) : أساسيات قياس المسافه بين محطتين للبث الليزرى



شكل رقم (٢٩) : أحد أجهزة خط الأساس متناهى الطول (الموجات الراديويه)



شكل رقم (٣٠) : أساسيات قياس المسافه بين محطتين راديويتين

أيضاً يوجد من هذه المحطات ما هـو مثبت بصفـه دائمـه ومـا يمـكن تحريكـه من موقـع إلـى أخـر (محطة متنقلة) ، إلا أن هذه التقنيه باهظة التكاليف وفى غير متناول الكثير .

أجهزة النظام العالمي لتعيين الإحداثيات (GPS) : يعتمد النظـام العـالمـى لتعييـن الإحداثيات (GPS) على ٢٤ قمراً صناعياً أطلقت لتدور حول الأرض فى مدارات مرتفعه ومحدده (شكل رقم ٣١) . ويمكـن القـول بـأن هـذه الأقمـار الصناعيـه منـذ أطلقهـا الأنسـان قـد حلـت محـل النجـوم لتعييـن الإحداثيات والأغراض الجيوديسيه المختلفه . ويعتبر النظام العالمى لتعيين الإحداثيات (GPS) أهم تقدم تقنى لعلم الجيوديسيا خلال العقدين الماضيين . حيث يمكن رصـد هـذه الأقمـار الصناعيـه فـى أى موقع على سطح الأرض على مدى الأربع وعشرون ساعه يوميا ، كما تتمـيز القياسـات التـى يسـتخدم فيها هذه التقنيه بالسرعه والدقه وقلة التكلفه .

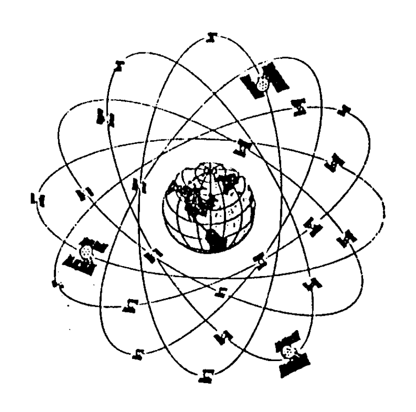
ويشمل النظام العالمى لتعيين الإحداثيات (GPS) من نوع " نافستار " والذى أطلقتـه وزارة الدفاع الأمريكيه للأغراض المدنيه والعسكريه الوحدات الثلاث التاليه (شكل رقم ٣٢) :

- وحدات الفضاء (الأقمار الصناعية)،
- الوحدات الأرضية (محطات المراقبة)،
- وحدات الإستخدام (أجهزة الاستقبال).

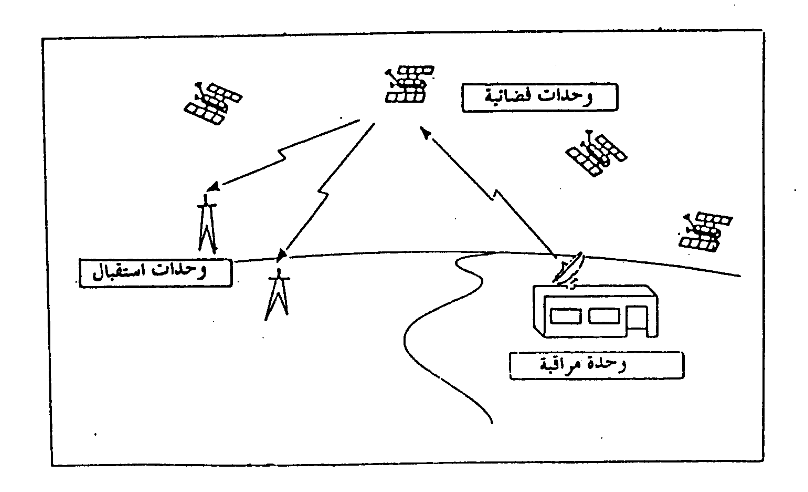
أ) **وحدات الفضـاء (الأقمـار الصناعيـه):** تتكـون وحـدات الفضـاء مـن ٢٤ قمـر صنـاعى تـدور حـول الأرض فى مدارات عاليه تزيد عن مائتى كيلو متر . وتستخدم هذه الأقمار الصناعية كنقاط مرجعية لتعيين الإحداثيات ، حيث تبث هذه الأقمار فيوض موجيه يحملها ترددين مختلفين وهذه الفيـوض يمكـن إستقبالها بواسطة المستقبلات الأرضيه ويمكن حسـاب زمـن انتقـال هـذه الفيـوض الموجيـه مـن الأقمـار الصناعيه الى مسـتقبلات GPS مـن حسـاب المسـافه بيـن المسـتقبل والقمـر الصنـاعى وبالتـالى حسـاب الإحداثيات (خط العرض ، خط الطول ، الأرتفاع) .

ب) **الوحدات الأرضيه (وحدات المراقبه) :** تتكون من عدد من وحدات المراقبه الأرضيه التى تضـم الأجهزه التاليه :

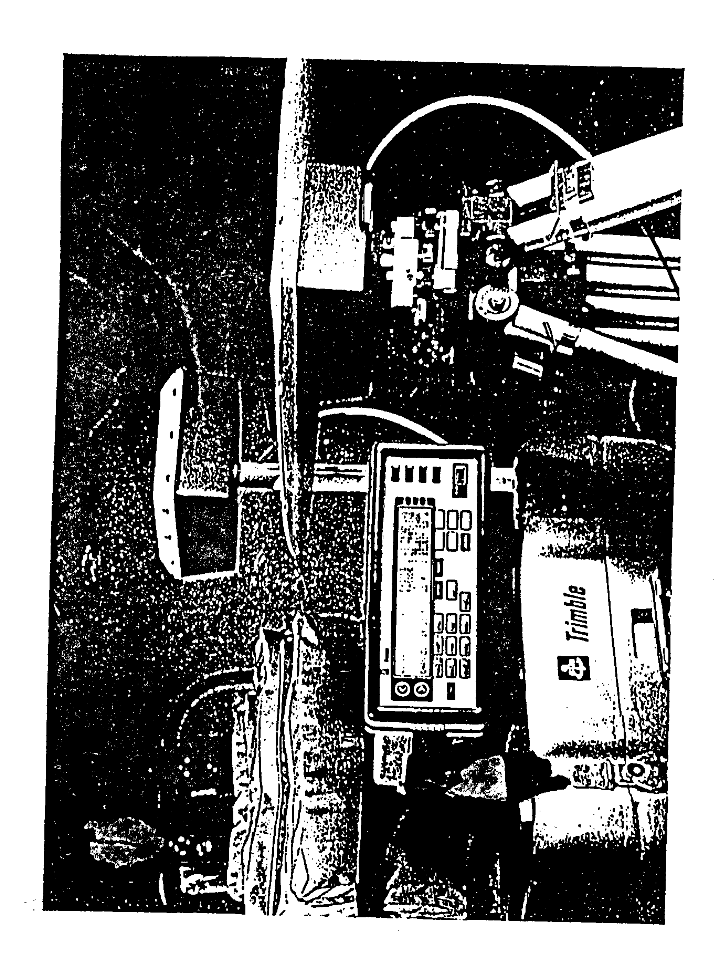
- أجهزة المراقبه المستمره لفيوض الأقمار الصناعيه ومداراتها ،
- أجهزة تحليل البيانات المستقبله من الأقمار الصناعيه ،
- أجهزة الأتصال بالأقمار الصناعيه ومدها بالبيانات اليوميه الجديده .



شكل رقم (٣١) : نظام الاحداثيات العالمى GPS



شكل رقم (٣٢) : وحدات النظام العالمى للاحداثيات GPS



شكل رقم (٣٢) : وحدة GPS

جـ) وحدات الإستخدام (أجهزة الإستقبال): وتتكون كل وحدة منها من هوائى ومستقبل (شكل رقم ٣٣). حيث يستقبل الهوائى فيوض موجات الأقمار الصناعية ويمررها للمستقبل الذى يقوم بتصنيفها وتجميعها .

وقد وصلت مستقبلات الأقمار الصناعية حداً كبيراً فى الصغر يسهل من حملها وسهولة إستخدامها. كما يوجد أنواع متعددة من المستقبلات تفى أغراض الإستخدامات المختلفة من تعيين للإحداثيات إلى أغراض الملاحة الأرضية والبحرية والفضائية إلى الإستخدامات الجيوديسية الدقيقة التى تتطلب دقة عالية فى تعيين الإحداثيات .

طرق القياسات الجيوديسية

تختلف طرق القياسات الجيوديسية بإختلاف التقنيات المستخدمة فيها سواء فيها التقنيات الأرضية أو التقنيات الفضائية ، إلا أنه قد جرى العرف على الفصل بين القياسات الجيوديسية الرأسية (الميزانية) والقياسات الجيوديسية الأفقية (الإحداثيات الأفقية) . والفصل بين القياسات الرأسية (الميزانية) والقياسات الأفقية يرجع إلى ما هو متوارث عن الجيوديسيا التقليدية كما يرجع إلى إختلاف الأجهزة المستخدمة فى القياسات الرأسية (الميزانية) عنها فى القياسات الأفقية وإختلاف أسلوب إجراء هذه القياسات .

١) القياسات الجيوديسية الرأسية (الميزانية):

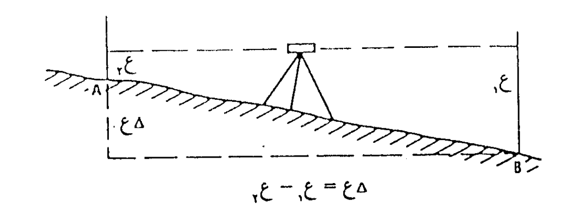
الميزانية من أدق الطرق الجيوديسية التى تستخدم لتعيين فرق الإرتفاعات بين نقطتين أو أكثر. وتعتمد دقة القياسات على الغرض من هذه القياسات ونوع الأجهزة المتوفرة لإجرائها ، وللحصول على دقة عالية لفروق الإرتفاعات توفر ذلك الأجهزة الأكثر تقدماً مثل الموازين الاوتوماتيكية وقامات الميزانية المعدنية ذات شريحة الإنفار المدرجة مع مراعاة تأثير الجاذبية والإنكسار الحرارى.

لحساب فرق الإرتفاع بين النقطتينن أ ، ب (شكل رقم ٣٤) بإستخدام قياسات الميزانية يوضع الميزان فى الوسط بين قامتى المساحة الموضوعتين رأسياً عند النقطتين أ ، ب. ويفضل أن تكون المسافة بين الميزان والنقطة أ هى نفس المسافة بين الميزان والنقطة ب ، ولا يلزم أن يكون الجهاز وقامتى الميزانية على خط مستقيم يصل بين النقطتين . ويمثل الشكل رقم (٣٤) قطاع واحد لبنيه الميزانية أو وحدة الميزانية .

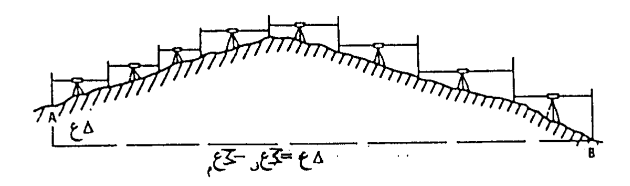
ويجرى قياس فرق الإرتفاع بتوجية جهاز الميزانية إلى كل من القامتين وتسجيل قراءة تدريج كل قامه ، ويمثل الفرق بين قراءة تدريج القامتين فرق الارتفاع بين النقطتين أ، ب. فمثلا لو فرضنا أن قراءة تدريج القامة عند النقطة أ (الخلفية) هى ع١ وقراءة تدريج القامة عند النقطة ب (الأمامية) هى ع٢ فإن فرق الإرتفاع بين النقطتين أ ، ب يعطى بالعلاقة :

$$\Delta ع = ع_١ - ع_٢$$

وتتكون شبكة الميزانية من عدد من قطاعات بنيه الميزانية على إمتداد خط الميزانية (شكل رقم ٣٥) ، حيث يتم تبادل القامات بين القطاعات على طول خط الميزانية فى نظام متسلسل من نقطة البداية حتى نقطة النهاية . ويسمى هذا الأسلوب المساحى " الميزانية المتسلسلة " ، حيث تمثل القامة الأمامية لقطاع ما القامه الخلفية للقطاع التالى . ويكون فرق الإرتفاع بين نقطتى البداية والنهاية هى



شكل رقم (٣٤) : أساسيات قياسات الميزانيه



شكل رقم (٣٥) : خط ميزانيه

فرق قراءات التدريج بين قراءات القامات الخلية ($\sum ع_{ف}$) وقراءات القامات الأماميـة ($\sum ع_{م}$)، أى أن :

$$\Delta ع = \sum ع_{ف} - \sum ع_{م}$$

يمكن أيضاً إجراء قياسات الميزانية على شبكات جيوديسية تغطى مناطق متسعة ، إلا أنــه مـن الضرورى فى هذه الحالات تعيين الإحداثيات الأفقية التقريبية لنقاط هذه الشبكات .

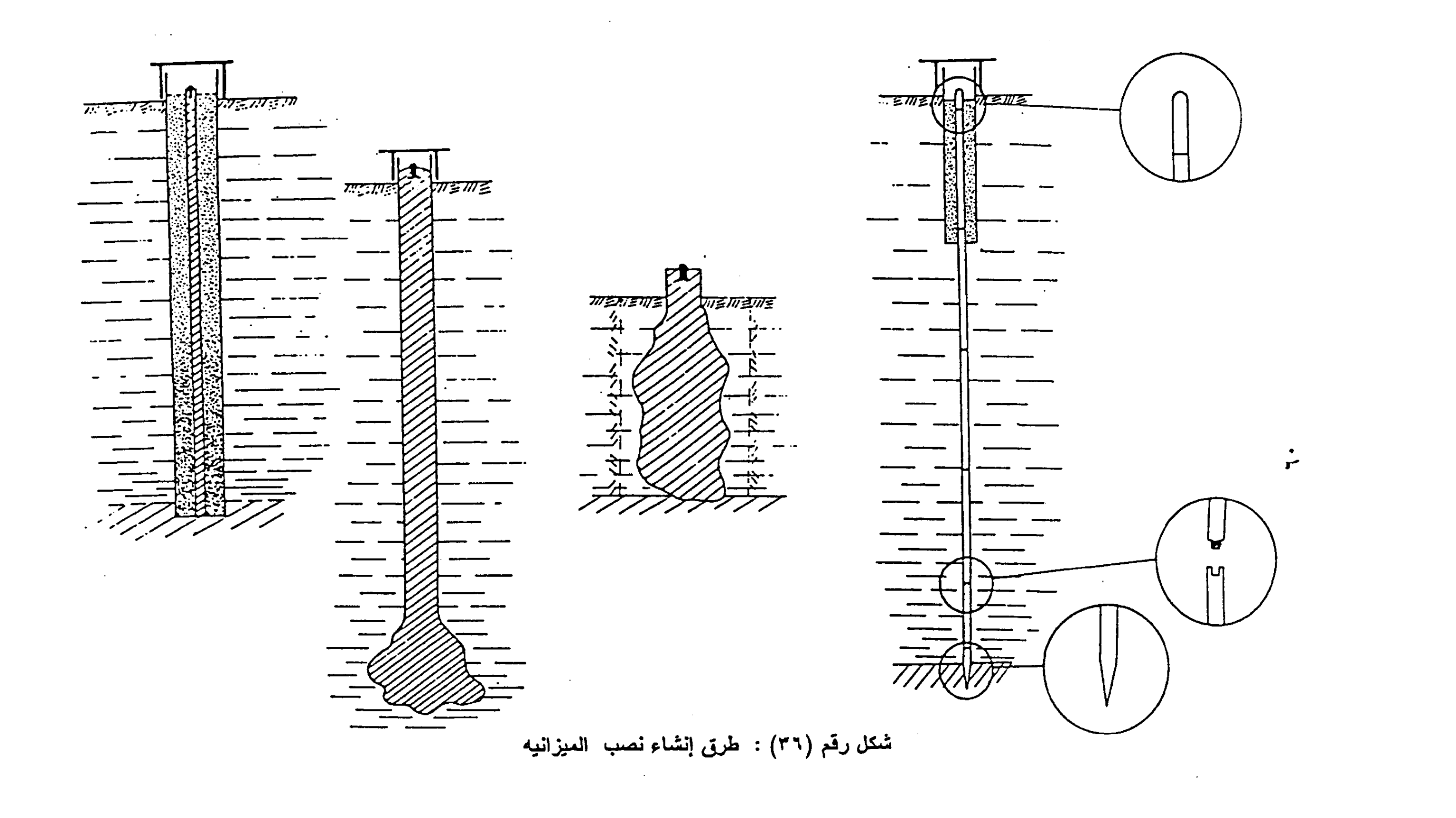
الميزانيه الدقيقه : تستخدم قياسات الميزانيه الدقيقه عادة فى بعض التطبيقات الجيوديسيه مثـل دراسـات تحركات القشرة الأرضيه . ولاجراء مثل هذه القياسات يلزم توفر الشرطين الأساسيين التاليين :

- إجراء القياسات على نصب جيوديسيه (قواعد) مثبته على عمق مناسب ،
- إجراء القياسات بإستخدام الأجهزة الدقيقه .

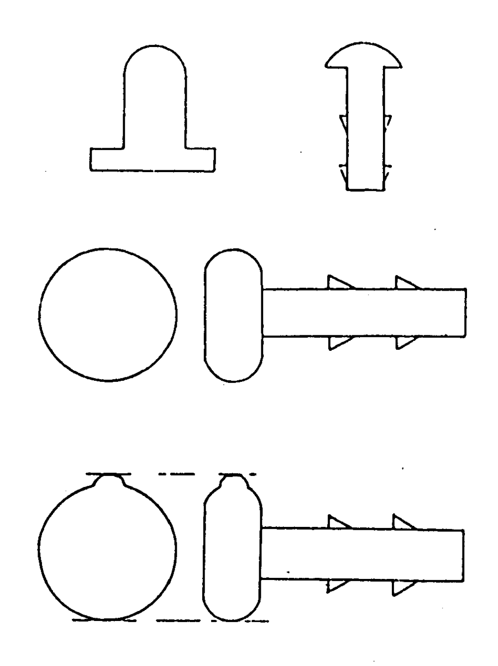
تعتمد دقة قياسات الميزانية على ثبات نصب الميزانية وعدم تأثرها بـالظروف البيئـة المحيطـة مثل الرطوبة والحرارة ، لذا يلزم إختيار الوسيلة المناسبة لانشاء قواعد قياسات الميزانيه . ويوجد طرقـا عده لانشاء نصب الميزانيه تعتمد أساساً علـى الظـروف البيئيـه ومـن أهمهـا طبيعـة الصخـور السـائده على إمتداد خطوط الميزانيـه . ويتكـون نصـب الميزانيـه مـن القـاعده المثبتـه علـى صخـور المنطقـه ، وعلامه جيوديسيه لوضع قامات الميزانيه عليها. وتتعدد طرق إنشاء قواعد نصب الميزانيـه (شـكل رقـم ٣٦) حسـب طبيعـة الأرض التـى يجـرى عليهـا الأنشـاء . وتكـون علامـات الميزانيـه مـن الصلـب أو النحاس الجيد ، ويمثل الشكل رقم (٣٧) بعض أنواع هذه العلامات .

تجرى قياسات الميزانيه الدقيقه على نصب الميزانيه بعد شهر على الأقل مـن اتمـام إنشـائها . ويستخدم فى إجراء القيـاسات الموازين الدقيقه والقامـات المعدنيه المجهزه بشريحة الأنفار المدرجه .

مصادرالخطأ فـى قياسـات الميزانيـه الدقيقـه : تستلزم قياسـات الميزانيـه الدقيقـه مراعـــاة بعـض الاحتياطات لتلافى الأخطاء الناتجه عن إجراء القياسات . وأخطاء قياسات الميزانيه نوعـان ، أحدهمـا خطأ عشوائى والثانى خطأ نظامى . ويحدث الخطأ العشوائى من الأجهزه والمناخ والأسلوب المسـتخدم فى القياسات والأخطاء العشوائيه لايمكن تلافيها كليـة ، الا أنهـا صغيرة جـداً . أمـا الأخطـاء النظاميـه فتحدث أيضا عـن الأجهـزه والمنـاخ والأسـلوب المسـتخدم فـى القيـاس ، وهـى أخطـاء متراكمـه يـلزم تلاشيها إما من خلال أسلوب وتقنيه الطريقه المستخدمه فى القياسات أو بتطبيق تصحيحات البيانات .



شكل رقم (٣٦) : طرق إنشاء نصب الميزانيه



شكل رقم (٣٧) : بعض أنواع العلامات الجيوديسيه لنصب الميزانيه

من الأخطاء التى يلزم تلاشيها وضع قامات المساحه وعدم إنطباقها مع الأتجاه العمودى على سطح الجيوئيد ، وأيضا تأثير المناخ المحلى بمنطقة القياسات (الأنكسار الحرارى) . ويحدث الإنكسار الحرارى نتيجه لتغير كثافات الهواء على إمتداد خط الميزانيه مما يؤدى إلى حيود خط الرؤيا وانحنائه تجاه الهواء الأكثر كثافه (شكل رقم ٣٨) . والأنكسار الحرارى بشكل داله مع درجة الحراره ، يمكن تلاشيها من خلال المحافظه على تساوى المسافات بين ميزان المساحه وقامتى المساحه (القامه الخلفيه والقامه الأماميه) ، أو بأجراء دراسه عن الانكسار الحرارى وحساب معاملات التصحيح اللازمه لمنطقه القياسات .

إستخدام أجهزه GPS فى قياس الأرتفاعات : على الرغم من صعوبه إحلال أجهزه GPS محل قياسات الميزانيه التقليديه ، إلا أنه يمكن إستخدام أجهزه GPS لقياس فروق الأرتفاعات بين نقاط الشبكات الجيوديسيه .

ونظرا لما هو متبع فى قياسات الميزانيه التقليديه ، من إعتبار سطح الجيوئيد (متوسط مستوى سطح البحر) كسطح مرجعى لقياس الارتفاعات (الارتفاعات الارثومتريه) ، لما لها من معنى طبيعى ، وما هو معروف عن إستخدام سطح الألبسويد كسطح مرجعى لقياسات GPS ، فانه يلزم تحويل الأحداثيات المنسوبه الى الألبسويد الى إحداثيات الجيوئيد حتى يمكن الأستفاده منها فى التطبيقات الجيوديسيه المختلفه . لذا يلزم عند إجراء قياسات GPS التعرف على الفرق بين سطح الجيوئيد وسطح الألبسويد والذى يسمى " حيود أو تموج الجيوئيد " ، حيث أن الفرق بين إرتفاع الألبسويد (الأرتفاع المقاس بأجهزه GPS) وإرتفاع الجيوئيد (الأرتفاع الارثومترى) يمثل تموج الجيوئيد (شكل رقم ١٠). وتسخدم أجهزه GPS عادة لقياس فرق الأرتفاع بين نقطتين أو أكثر .

٢) القياسات الجيوديسيه الأفقيه :

تجرى القياسات الجيوديسيه الأفقيه على الشبكات الجيوديسيه من خلال قياس طول خط أو خطى قاعده لكل شبكه بأستخدام أجهزه قياس المسافات الألكترونيه وقياس الزوايا الأفقيه والرأسيه بأستخدام أجهزه التيودوليت . وعاده ما تجرى هذه القياسات على شبكات جيوديسيه تكون نقاطها عدد من المثلثات فيما بينها . وتسمى هذه التقنيه بالقياس الثلاثى للزوايا (Triangulation) . بأستخدام قواعد حساب المثلثات يمكن حساب أطوال أضلاع هذه المثلثات وحساب إحداثيات النقاط الجيوديسيه المكونه للشبكه .

كما يمكن إجراء القياسات الجيوديسيه الأفقيه للشبكات الجيوديسيه من خلال قياس جميع أضلاع المثلثات التى تكونها نقاط الشبكه الجيوديسيه . وتسمى هذه التقنيه بالقياس الثلاثى للأضلاع(Trilateration) . باستخدام قواعد حساب المثلثات يمكن حساب قيمه زوايا المثلثات المكونه للشبكه وحساب إحداثيات النقاط الجيوديسيه المكونه لتلك الشبكه .

ويمكن أيضا دمج التقنيتين معا لقياس الشبكات الجيوديسيه وذلك من خلال قياس أطوال جميع أضلاع الشبكه وقياس زوايا المثلثات المكونه للشبكه . وينتج عن هذا الأسلوب من القياسات دقه عاليه فى حساب إحداثيات النقاط الجيوديسيه المكونه للشبكه ، لذا تسمى الشبكات الجيوديسيه فى هذه الحاله " الشبكات الجيوديسيه الأفقيه الحاكمه " .

وتستخدم هذه التقنيات فى قياس شبكات جيوديسية أفقية تغطى مساحات كبيرة وبدقة عالية نظراً لتوفر أجهزة قياس المسافات الطويلة ، وذلك بجانب استخدامها فى قياس الشبكات الجيوديسية الأفقية التى تغطى مساحات صغيرة .

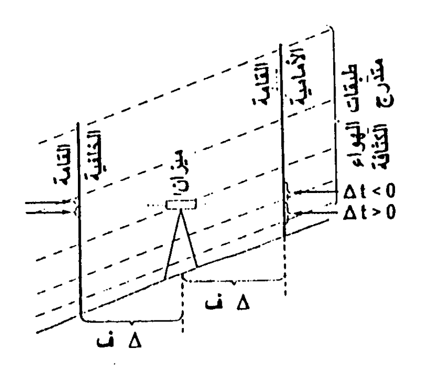
ولإجراء القياسات الأفقية الدقيقة ، يلزم كما فى قياسات الميزانية الدقيقة توفر شرطين أساسيين هما :

- إجراء القياسات على نصب جيوديسية (قواعد) مثبته على عمق مناسب ،
- إجراء القياسات بإستخدام الأجهزة الدقيقة .

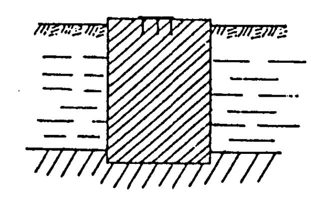
وتعتمد دقة القياسات الأفقية على ثبات نصب القياسات وعدم تأثرها بالظروف البيئية المحيطة مثل الإنزلاق الصخرى وتأثير الرطوبة والحرارة . لذا يلزم إختيار وسيلة مناسبة لإنشاء قواعد القياسات. وبتكوين نصب القياسات الأفقية من القواعد المثبته على صخور منطقة الشبكة ، وعلامات جيوديسية لضبط وتمركز الأجهزة والعواكس عليها . وتتنوع طرق إنشاء قواعد نصب القياسات الأفقية (شكل رقم ٣٩) حسب طبيعة الأرض التى يجرى إنشاء هذه القواعد عليها . ويمثل الشكل رقم (٤٠) بعض أنواع العلامات التى تستخدم فى نصب القياسات الجيوديسية الأفقية والتى يفضل أن تكون من الصلب أو النحاس الجيد .

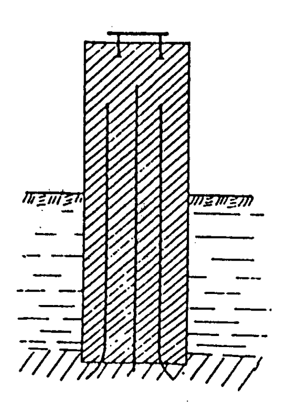
لغرض القياسات الجيوديسيه الأفقيه بإستخدام طرق القياس التقليديه (المسافات والزوايا) يلزم عند إنشاء هذه الشبكات رؤية عدد من النقاط حول كل نقطه من نقاط الشبكه . ويمثل الشكل رقم (٤١) تنظيم أحد الشبكات الجيوديسيه الأفقيه . وتجرى القياسات الجيوديسيه الأفقيه عادة بعد شهر على الأقل من إتمام إنشاء نقاط الشبكه . ويستخدم فى إجراء القياسات أجهزة التيودوليت الدقيقه وأجهزة قياس المسافات الألكترونيه الدقيقه أيضاً .

بعد إجراء القياسات الجيوديسيه الأفقيه ، بأحد الطرق المذكوره عاليه ، يتم تقويم بيانات الشبكه الجيوديسيه وحساب المسافات والزوايا وحساب إحداثيات نقاط الشبكه منسوبه إلى أحد أنظمة الإحداثيات المعروفه.

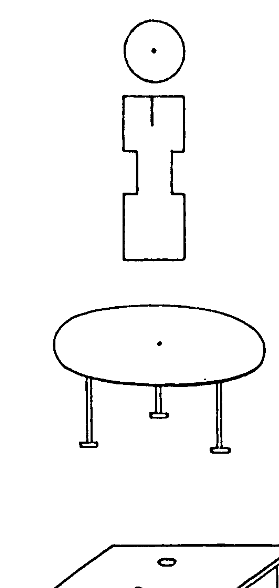


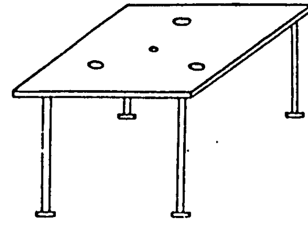
شكل رقم (٣٨) : تأثير الانكسار الحرارى



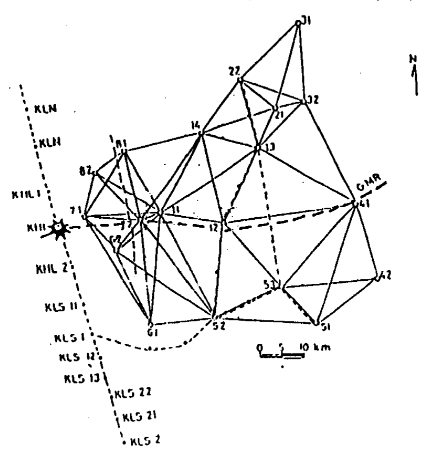


شكل رقم (٣٩) : طرق إنشاء نصب القياسات الأفقيه





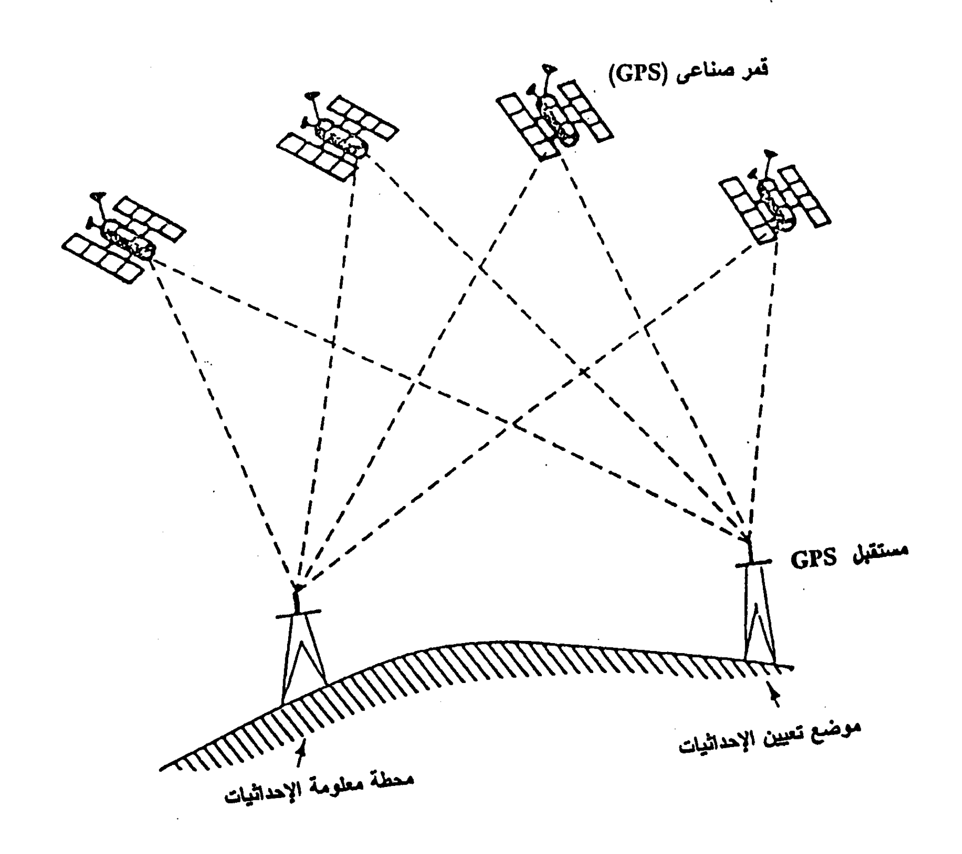
شكل رقم (٤٠) : بعض أنواع العلامات الجيوديسيه لنصب القياسات الأفقيه



شكل رقم (٤١) : تنظيم أحد الشبكات الجيوديسيه الأفقيه

إستخدام أجهزة GPS فى القياسات الجيوديسيه الأفقيه : تستخدم أجهزة GPS لتعيين إحداثيات نقطة ما وذلك بالاستعانه بأحد مستقبلات GPS ، أو تعيين إحداثيات نقطة بالنسبه لنقطة أخرى معلومة الإحداثيات ، وذلك بالاستقبال المتزامن لفيض عدد من الأقمار الصناعيه (أربعة أقمار أو أكثر) بالاستعانه بمستقبلى GPS من نفس النوع (شكل رقم ٤٢) . وتنسب الإحداثيات المعينه بأجهزة GPS إلى سطح الألبســويد (نظام الإحداثيات الكارتيزيه المركزيه المتعامده) .

وتجرى قياسات GPS بعدد من الطرق والأساليب التى تختلف فيما بينها فى درجة دقتها والغرض منها ، حيث يمكن إستخدام أحد هذه الطرق فى قياس الشبكات الجيوديسيه قصيرة الأضلاع وأيضا تكثيف النقاط الجيوديسيه ، وطريقه أخرى يمكن إستخدامها لقياس الشبكات الجيوديسيه طويلة الأضلاع وتعيين إحداثيات النقاط الجيوديسيه الحاكمه . كما يمكن إستخدام أحد الطرق (النظام الفرقى) فى القياس المتباين للإحداثيات وأغراض الملاحه .



شكل رقم (٤٢) : القياسات الجيوديسيه الأفقيه باستخدام اجهزة GPS .

تطبيقات علم الجيوديسيا

لعلم الجيوديسيا تطبيقات كثيرة ومتنوعة تخدم الكثير من فروع العلم والمعرفة بالطريق المباشر أو غير المباشر . كما أن لتطبيقات علم الجيوديسيا دور رئيسى فى تقدم البشرية . وسنعرض فى هذا الكتيب لثلاث من التطبيقات الهامه لعلم الجيوديسيا وهى :

- إنشاء الخرائط ،
- الملاحه ،
- مراقبه تحركات القشرة الأرضيه .

١) إنشاء الخرائط :

كما سبق أن ذكرنا يعتبر علم المساحه وإنشاء الخرائط أحد الفروع التطبيقيه الهامه لعلم الجيوديسيا ، حيث يلزم إنشاء الخرائط قياس الشبكات الجيوديسيه وتعيين إحداثيات نقاطها، ومن ثم إستخدام البيانات الجيوديسيه لهذه الشبكات فى إنشاء الخرائط .

وتنقسم الخرائط إلى عده أنواع تبعا لمقياس رسمها وطريقه إسقاط إحداثياتها والمعلومات المدونه عليها والغرض المعده له . ومن أهم أنواع الخرائط ما يلى :

- الخرائط العامه ،
- الخرائط الخاصه .

أ) الخرائط العامه : تظهر هذه الخرائط المعالم الطبيعيه على إختلافها بالإضافه إلى المعالم المتغيرة والمميزة للتطور البشرى على سطح الأرض . وأهم أنواع هذه الخرائط ما يلى :

الخرائط الطوبوغرافيه : تظهر الخرائط الطبوغرافيه كافه المعالم الطبيعيه كالأنهار والبحيرات والبحار والخلجان . وتظهر أيضا المناطق المرتفعه والمنخفضه وتدرجها على شكل خطوط كنتوريه . كما تظهر هذه الخرائط المعالم الصناعيه كالسكك الحديديه والطرق والترع والمنشآت وحدود المحافظات والمدن والقرى . وتتدرج هذه الخرائط تبعا لمقياس رسمها من المقاييس الصغيرة حيث يستغنى عن كثير من التفاصيل للمعالم الطبيعيه والصناعيه ولا يظهر منها إلى ما هو رئيسى ، إلى المقاييس الكبيرة حيث يظهر على هذه الخرائط أدق التفاصيل للمعالم الطبيعيه والصناعيه وتفاصيل المدن والقرى وخطوط المواصلات .. وخلافه .

الخرائط الجغرافيه : تعد الخرائط الجغرافيه بحيث تظهر المعالم الطبيعيه على الأرض والحدود السياسيه للدول . وتعد هذه الخرائط بمقاييس رسم متعددة لتشمل كامل الكرة الأرضيه أو قارة بأكملها أو جزء منها .... الخ .

الخرائط المجسمه : تعد هذه الخرائط بحيث تعطى شكلا مجسما لطبيعة الأرض بارتفاعاتها ومنخفضاتها ومعالمها الطبيعيه .

ب) **الخرائط الخاصه** : بالاضافه إلى إظهار هذه الخرائط للمعالم الطبيعيه والصناعيه بالدقه الكامله يضاف إلى هذه الخرائط بيانات أخرى تخدم أغراضا معينه ، ومن أنواع هذه الخرائط :

الخرائط السياحيه : ويظهر عليها جميع المعالم السياحيه والمناطق الأثريه

خرائط المواصلات الأرضيه : ويظهر عليها خطوط السكك الحديديه السطحيه وتحت السطحيه (المترو) وطرق المواصلات المختلفه وتفرعاتها ومعالمها .

خرائط الملاحه البحريه : ويظهر عليها خطوط الملاحه البحريه بين الموانى العالميه ، كما يظهر عليها المناطق الصالحه للملاحه والمناطق الخطرة حسب درجه خطورتها .

خرائط الملاحه الجويه : ويظهر عليها خطوط الطيران بين مدن العالم المختلفه ومواقع المطارات .

خرائط إحصائيه : ويظهر على هذه الخرائط الكثير من الاحصائيات حسب الحاجه إليها .. ومنها على سبيل المثال الكثافه السكانيه ومصادر الثروة وبعض المعلومات الجغرافيه الهامه .

الخرائط العلميه : تشمل هذه الخرائط أنواعا متعددة .. فمنها خرائط الثروات الطبيعيه والصناعيه والمشروعات الهندسيه الكبرى .. والخرائط الجيولوجيه بأنواعها والتى توضح التراكيب الجيولوجيه والصخريه ومناطق التعدين والبترول والغاز .. وأيضا الخرائط الجيوفيزيقيه بأنواعها ومنها خرائط المجال المغناطيسى للأرض وخرائط مجال الجاذبيه الأرضيه وخرائط توزيع الحرارة الأرضيه وخرائط توزيع النشاط الزلزالى والبركانى وخرائط تراكيب القشرة الأرضيه وخرائط تحركات القشرة الأرضيه وديناميكيتها . كما تضم الخرائط العلميه خرائط المناخ وتوزيعات الضغط الجوى ودرجه الحرارة وإتجاه الرياح .. وخلافه .

ويتطلب إنشاء هذه الخرائط الاستعانه بعلم الجيوديسيا لتعيين الاحداثيات وتوقيعها حسب الاسقاطات المطلوبه .

٢) الملاحـــه :

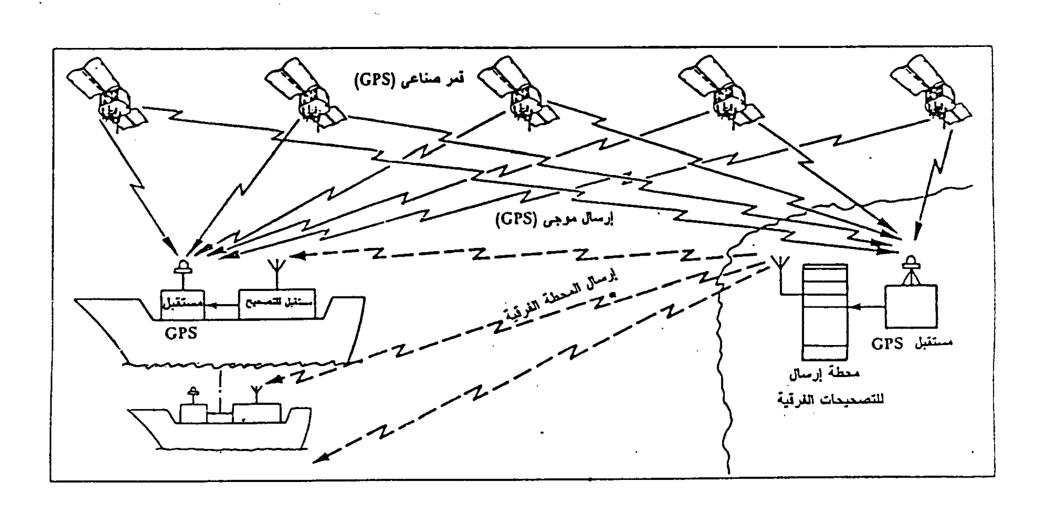
إعتمدت الملاحه الأرضيه والبحريه والجويه حتى الماضى القريب على البوصلـه المغناطيسيه والخرائط الملاحيه لتعيين الاتجاه وإحداثيات الموقع . وقد أدى التطور السريع للتقنيات الفضائيه (الأقمار الصناعيه) ، فى العشر سنوات الأخيرة ، إلى الاستعانه بهذه التقنيات فى أعمال الملاحه . ومن أهم التقنيات الحديثه فى هذا المجال أنواع مستقبلات النظام العالمى لتعيين الاحداثيات (GPS) ، حيث تستخدم بعض أنواع هوائيات ومستقبلات (GPS) لتعيين إحداثيات الأغراض المتحركه بالنسبه للزمن وعرضها على شاشات خاصه تزود بها مستقبلات (GPS) مع الإستعانه ببرامج خاصه لتحليل البيانات وعرضها على هذه الشاشات . وتشمل البيانات إحداثيات الغرض المتحرك (خط العرض،خط الطول ، الارتفاع) وسرعه الغرض وإتجاه حركته .

وللحصول على بيانات ملاحيه أكثر دقه يستعان حاليا بالنظام الفرقى (المتباين) لقياسات (GPS) (شكل رقم ٤٣) ، والذى يعتمد على تثبيت محطه (GPS) فى موقع ثابت محدد الاحداثيات تتكون من هوائى ومستقبل (GPS) وأجهزه لإعادة بث لحظى لما تم إستقباله من موجات الأقمار الصناعيه . كما يعتمد على تزويد كل غرض متحرك (أرضى أو بحرى أو جوى) بهوائى ومستقبل (GPS) من نفس النوع بالاضافه إلى حاسب آلى وشاشات للعرض . تستقبل هوائيات مستقبلات (GPS) المزود بها الأغراض المتحركه البث الموجى للأقمار الصناعيه والبث الموجى من المحطه الثابته . ويمكن إختلاف الطور بين الموجات المستقبله مباشرة من الأقمار الصناعيه والمستقبله من المحطه الثابتة من تصحيح البيانات المستقبله من هوائى الغرض المتحرك وذلك قبل إجراء تحليل البيانات والتى يستخدم فيها برامج خاصه تساعد فى الحصول على بيانات دقيقه عن إحداثيات موقع الغرض المتحرك وإتجاه حركته وسرعته .

وتستخدم هذه التقنيه حاليا فى الكثير من السفن والطائرات وأيضا السيارات ، كما سيجرى تعميم إستخدامها فى أعمال الملاحه الجويه وجميع المطارات نظرا لثبوت دقتها ومدى أهميتها لتأمين الملاحه الجويه ، خاصه منها إقتراب الطائرات من المطارات وعمليه هبوطها .

٣) مراقبة تحركات القشرة الأرضية :

تعتبر الطرق الجيوديسيه الأرضية (القياسات الأفقيه والقياسات الرأسيه) من أدق الطرق التى تستخدم على مدى واسع لمراقبه تحركات القشرة الأرضيه على المستويات المحليه والأقليميه ، خاصه منها التشوهات التى تحدث نتيجه لتزايد الأنشطه البشريه على سطح الأرض . كما تستخدم الطرق



شكل رقم (٤٣) : النظام الفرقى لقياسات GPS .

الجيوديسيه الفضائيه (خط الاساس فائق الطول VLBI ، بث أشعه الليزر إلى الأقمار الصناعيه SLR ، بث أشعه الليزر إلى القمر LLR ، أجهزة النظام العالمى لتعيين الاحداثيات GPS) لمراقبة تحركات القشرة الأرضيه على مستوى قارات الكرة الأرضيه (تزحزح القارات) ومراقبه الحركه النسبيه بين الصفحات التكتونيه وأيضا مراقبه تحركات القشرة الأرضيه على المستويات المحليه والاقليميه . ولكل طريقه من هذه الطرق كفاءتها ودرجه دقتها . وإجمالا تساعد الطرق الجيوديسيه فى التعرف على طبيعه القشرة الأرضيه وديناميكيتها المعاصرة ، كما تساعد فى تعيين نوع الحركه التكتونيه المؤثرة على صفحات القشرة الأرضيه ومعدلات هذه التحركات والطاقات المتجمعه عنها . أيضا تساعد الطرق الجيوديسيه فى دراسه التشوهات الناجمه عن الانشطه البشرية على سطح الأرض (بناء السدود والبحيرات والكبارى والأنفاق والمبانى المتعاظمه وضخ البترول والمياه والغاز وأعمال التعدين .. وخلافه) ومدى تأثيرها على إتزان القشرة الأرضيه .

وتعتمد تطبيقات الطرق الجيوديسيه المختلفه فى دراسات تحركات القشرة الأرضيه على تكرار القياسات الجيوديسيه لتعيين إحداثيات النقاط الجيوديسيه المرجعيه والأساسيه وأيضا تكرار القياسات على الشبكات الجيوديسيه المنشأة لأغراض الدراسات الجيوديناميكيه . وتعتبر نتائج تكرار القياسات الجيوديسيه وتعيين إحداثيات النقاط المرجعيه أو الاساسيه أو النقاط المكونه للشبكات الجيوديسيه هى المصدر الرئيسى لمدلولات ومؤشرات تحركات القشرة الأرضيه . وللحصول على معلومات وبيانات دقيقه عن تحركات القشرة الأرضيه يلزم الاختيار الدقيق والمناسب للفترة الزمنيه بين القياسات المتكررة . حيث تحدد الفترة الزمنيه بين القياسات الأوليه وتكرارها تبعا لطبيعه المنطقه التى يجرى دراستها ومعدل تحركاتها ومدى دقه القياسات الجيوديسيه والمستوى الذى تجرى عليه هذه الدراسات (تزحزح قارى ـ الحركه النسبيه بين الصفحات التكتونيه ـ التحركات الاقليميه ـ التحركات المحليه ـــ التحركات الناتجه عن الانشطه البشريه) . فعلى سبيل المثال كلما زاد معدل التحركات قلت الفترة الزمنيه بين تكرار القياسات ، والعكس صحيح ، وكلما كانت الدراسات معنيه بمراقبه التحركات المحليه أو التحركات الناتجه عن الانشطه البشريه قلت الفترة الزمنيه بين تكرار القياسات .

ولمراقبه تحركات القشرة الأرضيه وإجراء دراساتها ، وللحصول على بيانات دقيقه عن هذه التحركات فانه يلزم إتباع ثلاث من الخطوات الاساسيه والمتتابعه هى :

- إنشاء نقاط الشبكات الجيوديسيه ،
- إجراء القياسات الجيوديسيه ،
- تحليل بيانات القياسات الجيوديسيه المتكررة .

أ) **إنشاء نقاط الشبكات الجيوديسيه** : يعتبر إنشاء النقاط الجيوديسيه الأساسيه ونقاط الشبكات الجيوديسيه المخصصه للدراسات الجيوديناميكيه أولى المراحل الأساسيه لمراقبه تحركات القشرة

الأرضيه . وتهدف هذه الانشاءات إلى تجهيز الشبكات الجيوديسيه الملائمه والصالحه كمصدر لبيانات تحركات القشرة الأرضيه . ولاجراء إنشاء نقاط الشبكات الجيوديسيه فأنه يلزم جمع البيانات اللازمه عن منطقه الدراسه والتى تشمل :

البيانات الجيولوجيه : وتشمل البيانات الجيولوجيه المطلوب جمعها الفوالق الموجودة بمنطقه الدراسه وكذلك الحدود بين الكتل المختلفه للقشرة الأرضيه وتحديد المناطق الجيولوجيه والتكتونيه المختلفه . ويتم تسجيل هذه البيانات على خرائط تساعد فى إختيار أنسب الأماكن لتثبيت وإنشاء النقاط الجيوديسيه . حيث يلزم تثبيت النقاط الجيوديسيه على جانبى الفوالق النشطه لمسافه لا تقل عن ١٠٠م بالنسبه للدراسات الاقليميه .

البيانات الطوبوغرافيه : وتشمل البيانات الطوبوغرافيه المرتفعات والمنخفضات والتلال والوديان .. إلخ. وتساعد البيانات الطوبوغرافيه على تخطيط الشبكات الجيوديسيه وإتصال خطوط الرؤيه بين النقاط الجيوديسيه (فى حاله القياسات الجيوديسيه الأرضيه) وكذلك مسار خطوط الميزانيه الدقيقه . ويفضل فى كثير من الحالات إنشاء الشبكات الجيوديسيه للقياسات الأفقيه مع خطوط الميزانيه الدقيقه بمناطق الدراسه .

البيانات الجيوديسيه : وتشمل البيانات الجيوديسيه السابق إجراؤها بمناطق الدراسه ، ولها أهميه كبيرة فى التعرف على معدلات تحركات القشرة الأرضيه بهذه المناطق . وتساعد هذه البيانات فى إختيار نظام الاحداثيات الملائم للقياسات الجيوديسيه والدقه المتطلبه لهذه القياسات ، وأيضا الفترة الزمنيه لتكرار القياسات . كما يساعد دراسه مجال الجاذبيه الأرضيه فى مناطق الدراسه من تعيين سطح الجيوئيد ذو الأهميه الخاصه لتحليل وتمثيل بيانات القياسات الجيوديسيه .

البيانات الصخريه : وتشمل البيانات الصخريه التتابع الصخرى بمنطقه الدراسه وكذلك الصخور السطحيه وكثافاتها . وتساعد هذه البيانات فى تحديد الاسلوب الأمثل لانشاء النقاط الجيوديسيه والذى يعتمد أساسا على نوعيه الصخور وأعماقها وتتابعها . حيث أنه من الضرورى تثبيت النقاط الجيوديسيه على قاعدة صخريه صلبه ما أمكن ذلك .

وتساعد هذه البيانات مجتمعه فى تخطيط الشبكات الجيوديسيه وخطوط الميزانيه الدقيقه وإنشاء نقاطها. حيث تعتمد دقه بيانات دراسات تحركات القشرة الأرضيه على نوعية إنشاءات النقاط الجيوديسيه ومدى ثباتها . وأساليب وطرق إنشاء النقاط الجيوديسيه متعددة وتعتمد عادة على الظروف المحليه والامكانات المتاحه ، إلا أنه من الضرورى ، وفى كل الحالات ، التأكد من أن إنشاءات هذه

النقاط تعكس حركة الطبقة الصخرية أسفلها والمثبت عليها هذه النقاط ، والتأكد أيضا من عدم وجود مؤثرات خارجيه تعمل على تحرك هذه النقاط . ومنها على سبيل المثال :

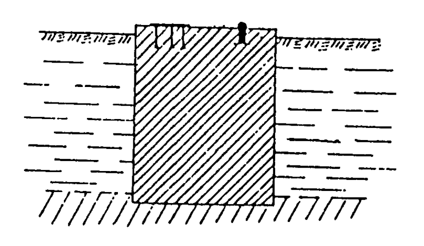
- الحركه الناتجه عن تغير رطوبه التربه خاصه منها التربه الطينيه ، وأيضا الحركه الناتجه عن زيادة جفاف التربه فى المناطق الجافه ، حيث يؤثر ذلك على المركبه الرأسيه للحركه ،
- الحركه الناتجه عن الانزلاق الصخرى خاصه فى الميول والمنحدرات ، ويؤثر ذلك على كل من المركبتين الرأسيه والأفقيه للحركه .

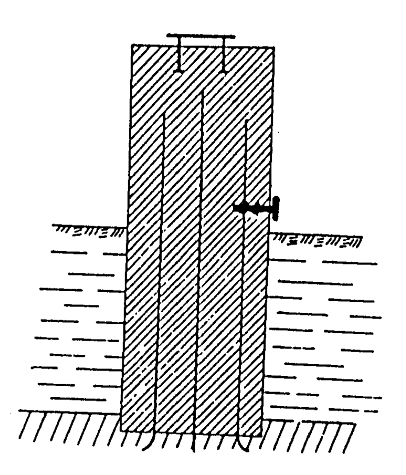
وتتكون كل نقطه جيوديسيه من قواعد أو نصب النقطه الجيوديسيه وعلامه جيوديسيه للموقع. وتتعدد طرق إنشاء نصب النقاط الجيوديسيه وأيضا أنواع العلامات الجيوديسيه المستخدمه فى القياسات الجيوديسيه . كما تختلف العلامات الجيوديسيه وطرق إنشاء نصب النقاط الجيوديسيه لكل من القياسات الجيوديسيه الأفقيه والقياسات الجيوديسيه الرأسيه (الميزانيه) . وتمثل الاشكال أرقام (٣٦) ، (٣٧) بعضا من نصب النقاط الجيوديسيه لقياسات الميزانيه الدقيقه وكذلك بعض أنواع العلامات الجيوديسيه المستخدمه فى القياسات كما تمثل الأشكال أرقام (٣٩) ، (٤٠) بعضا من نصب النقاط الجيوديسيه للقياسات الأفقيه وكذلك بعض أنواع العلامات المستخدمه فى القياسات الأفقيه (المسافات والزوايا) . وفى كثير من الحالات يتم إنشاء نصب نقاط جيوديسيه مشتركه لاجراء كل من القياسات الجيوديسيه الرأسيه (الميزانيه) والقياسات الجيوديسيه الأفقيه (شكل رقم ٤٤) .

بعد إتمام إنشاء النقاط الجيوديسيه ، وبعد مرور وقت كاف لثباتها وتماسكها مع الصخور المحيطه بها ، يمكن إجراء القياسات الجيوديسيه الأوليه على هذه النقاط .

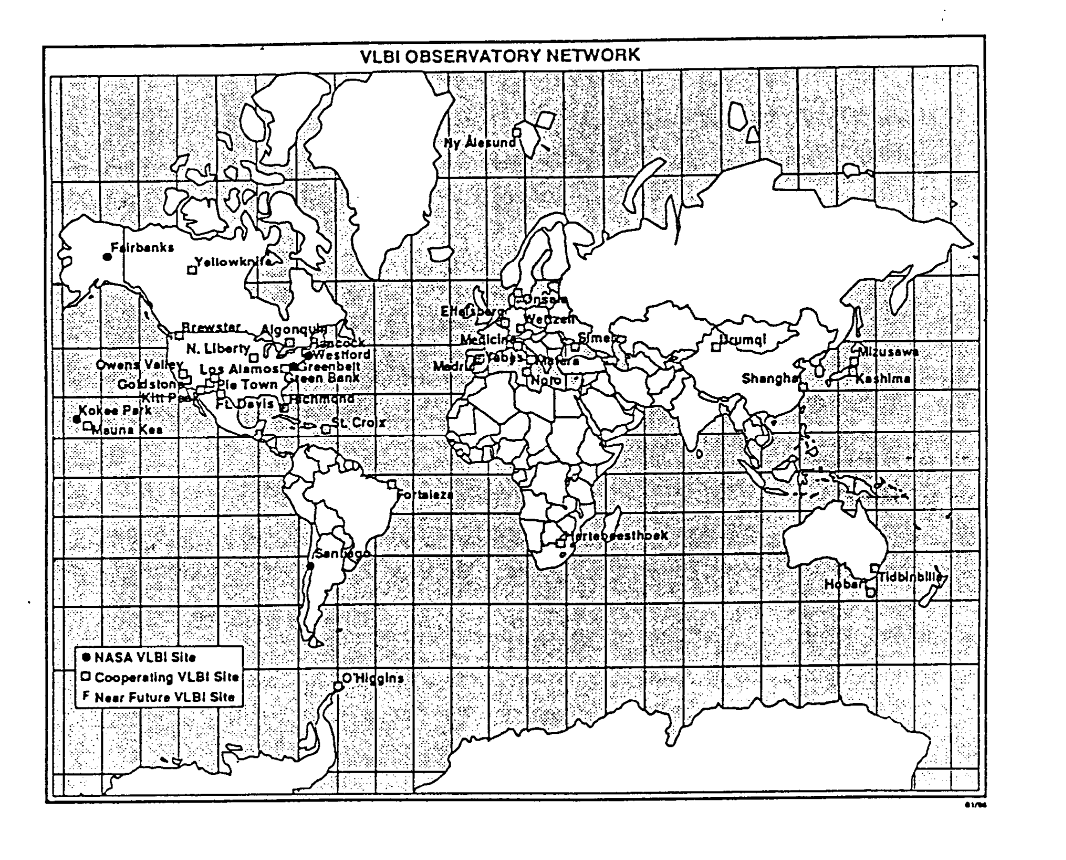
وتضم الشبكات الجيوديسيه المخصصه للأغراض الجيوديناميكيه شبكات مكونه من نقاط جيوديسيه موزعه على قارات الكرة الأرضيه وصفحاتها التكتونيه . وتهدف هذه الشبكات إلى دراسه التزحزح القارى ودراسه الحركه النسبيه بين الصفحات التكتونيه .ويستخدم فى قياس إحداثيات نقاط هذه الشبكات وتعيين أطوال أضلاعها إما تقنيه خط الأساس فائق الطول VLBI (شكل رقم ٤٥) أو تقنيه بث أشعه الليزر إلى الأقمار الصناعيه SLR (شكل رقم ٤٦) أو التقنيه الحديثه لأجهزه النظام العالمى لتعيين الاحداثيات GPS (شكل رقم ٤٧) . كما تضم الشبكات الجيوديسيه شبكات أصغر فى إتساع رقعتها وتخصص هذه الشبكات للدراسات الاقليميه والمحليه . ويستخدم فى قياس هذه الشبكات الأجهزة الجيوديسيه الأرضيه (القياسات الأفقيه والقياسات الرأسيه) ، وفى بعض الاحيان تستخدم الأجهزة الجيوديسيه الفضائيه من نوع GPS .

ب) <u>إجراء القياسات الجيوديسيه</u> : القياسات الجيوديسيه الدقيقه لدراسات تحركات القشرة الأرضيه هى المرحلة التاليه لانشاء النقاط والشبكات الجيوديسيه . ويتولى إجراء القياسات الجيوديسيه

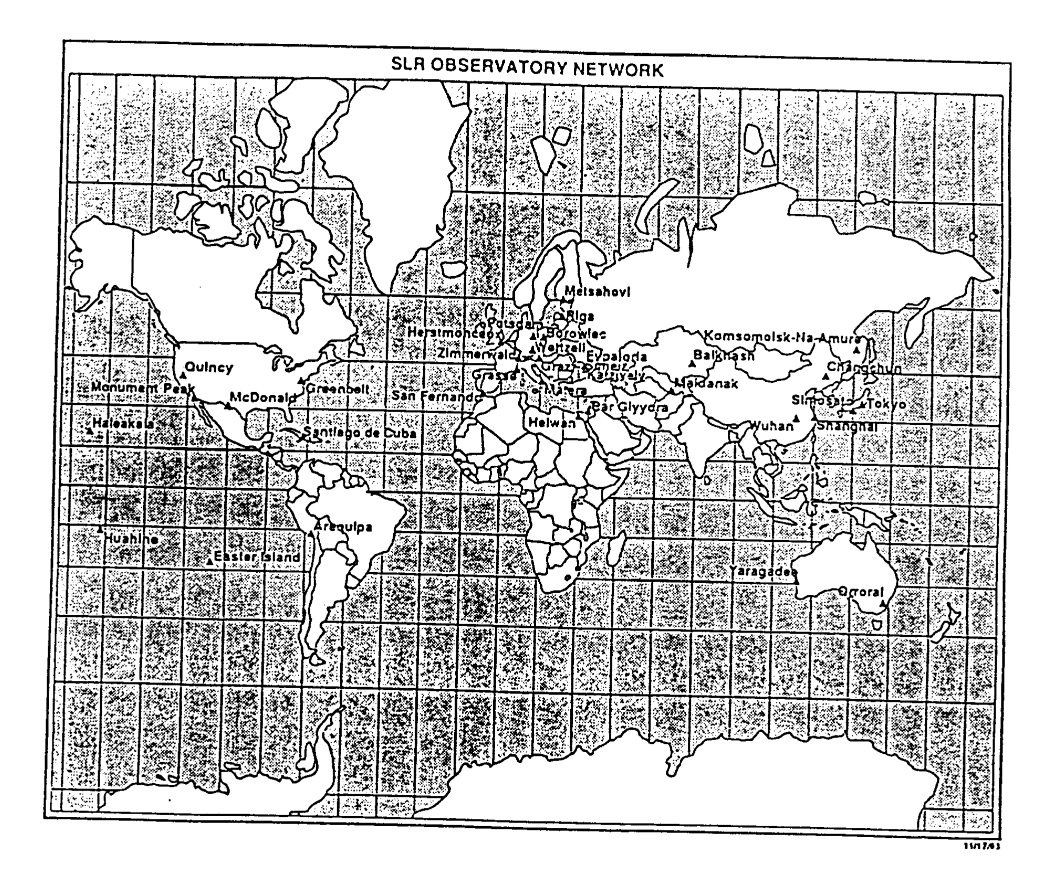




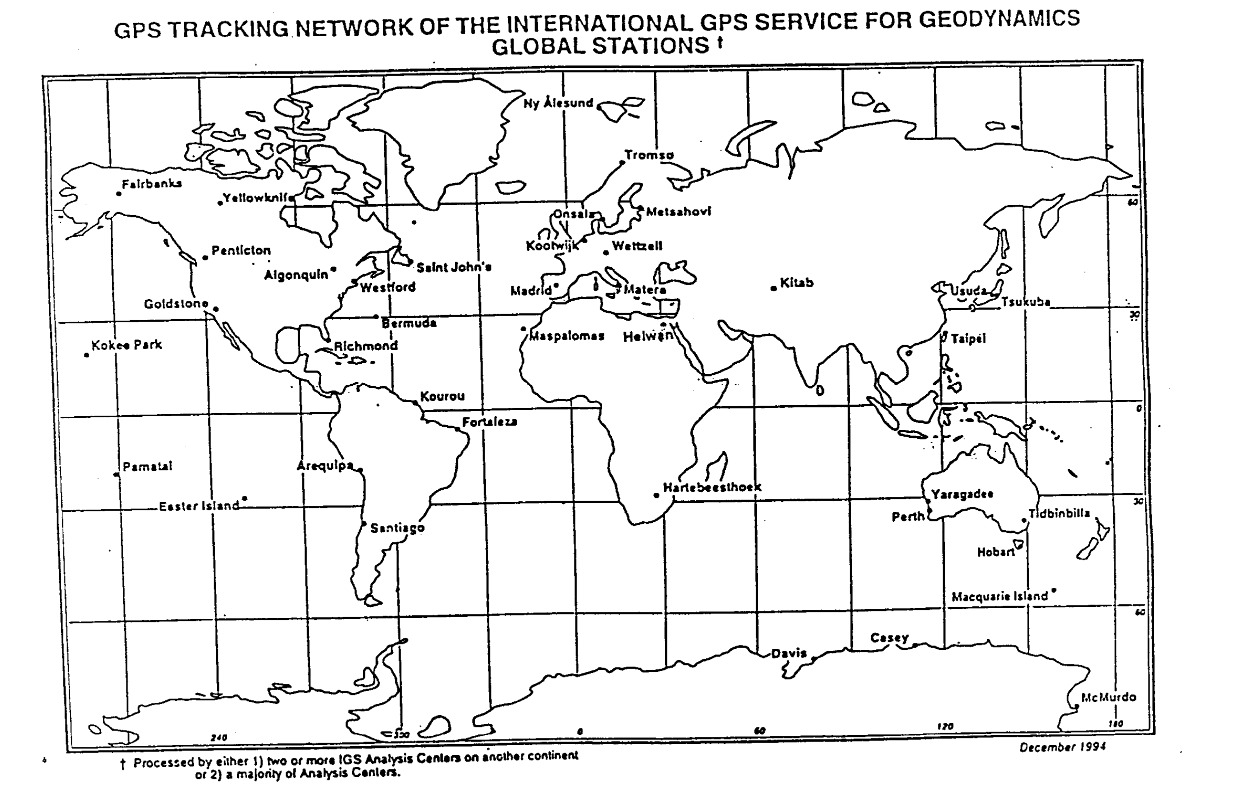
شكل رقم (٤٤) : بعض النصب المخصصه للقياسات الأفقيه مع القياسات الرأسيه.



شكل رقم (٤٥) : توزيع محطات VLBI خطوط الأساس متناهية الطول



شكل رقم (٤٦) : توزيع محطات البث الليزرى SLR .



شكل رقم (٤٧) : توزيع محطات النظام العالمى للاحداثيات GPS .

وتكرارها الراصدون المتخصصون فى هذا المجال . ومن الضرورى قبل إجراء القياسات الجيوديسيه الحقليه أن نأخذ فى الاعتبار :

- تحديد النظام المستخدم فى القياسات ،
- تحديد أنواع الأجهزة اللازمه لهذه القياسات ،
- تحديد الطرق المستخدمه فى القياسات وتكرارها ،
- تحديد الفترة الزمنيه بين تكرار القياسات ،
- تحديد طرق تدوين البيانات وطرق تصحيحها .

ويلزم عند إجراء القياسات الالتزام بنظام موحد لاجراء القياسات الجيوديسيه وتكرارها .

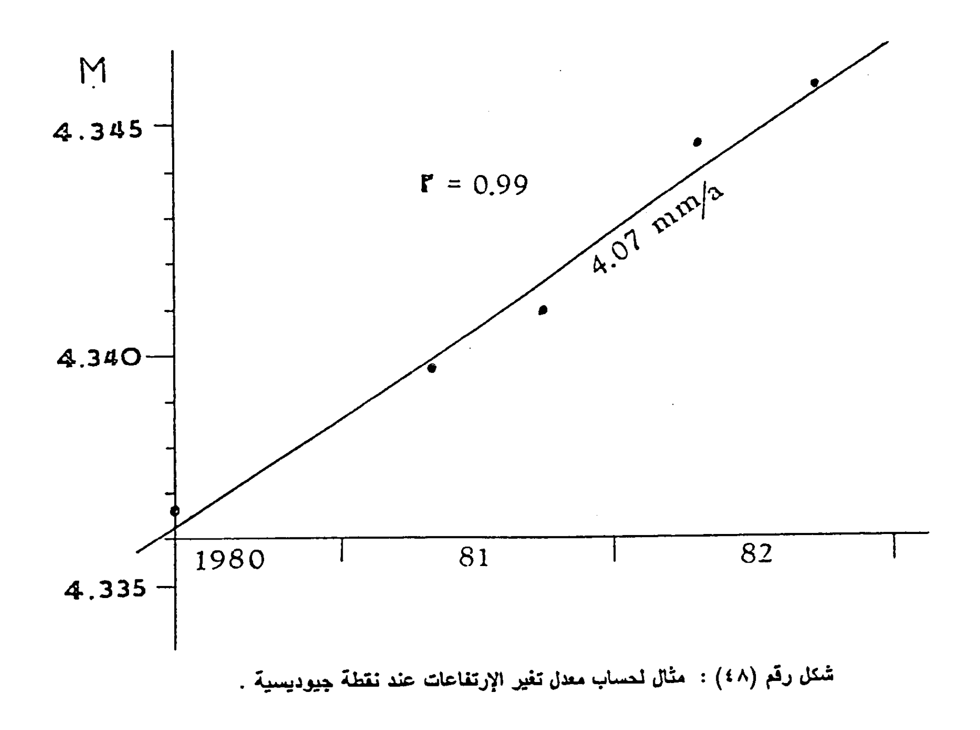
جـ) تحليل بيانات القياسات الجيوديسيه المتكررة : يعتبر تحليل البيانات الجيوديسيه المتكررة هو الهدف المنشود لدراسات تحركات القشرة الأرضيه . ويتولى تحليل البيانات متخصصون أكفاء لهم درايه بطبيعه البيانات الجيوديسيه وطرق تصحيحها وتقويمها والعمليات الاحصائيه التى يمكن إجراؤها عليها ، والدرايه بجيولوجيه وتركيبيه مناطق الدراسه ، ولهم القدرة على إستخلاص النتائج وعمل النماذج الجيوديناميكيه التى توضح معدلات تحركات القشرة الأرضيه ومتجهات الحركه والطاقه المتجمعه والتشوهات الناجمه عنها . وينقسم تحليل البيانات الجيوديسيه إلى :

- التحليل الجيوديسى ،
- تحليل تحركات القشرة الأرضيه .

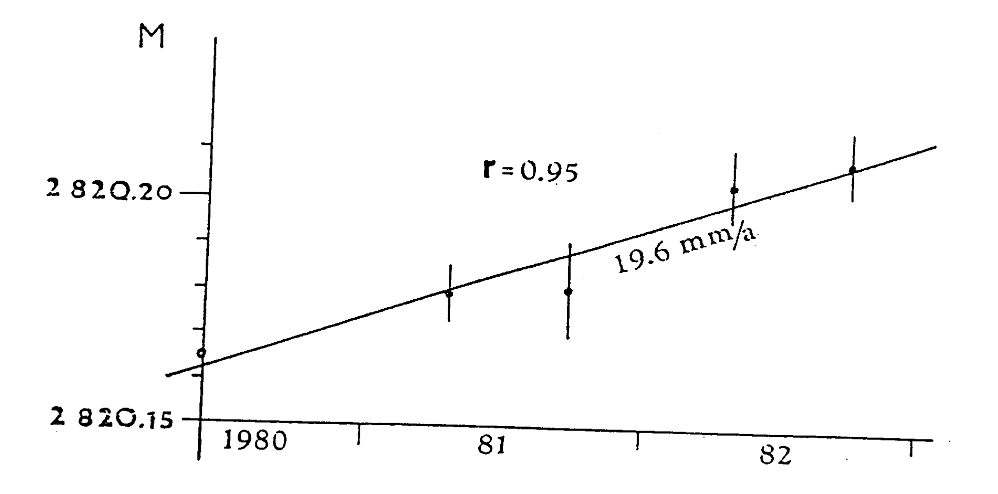
التحليل الجيوديسى : يهدف التحليل الجيوديسى إلى تقييم دقه القياسات المتكررة . ويتم تعيين درجه الدقه لكل عنصر من عناصر القياسات الأفقيه والرأسيه وكل عنصر من العناصر المصححه والمقومه. ويوضح التحليل الجيوديسى مدى دقه القياسات ومدى ملاءمتها لدراسات تحركات القشرة الأرضيه .

تحليل تحركات القشرة الأرضيه : يشمل تحليل تحركات القشرة الأرضيه طرقا متعددة لتحليل البيانات الجيوديسيه وتمثيلها . ومن أبسط طرق تحليل البيانات وتمثيلها تعيين معدلات تغير الارتفاعات (شكل رقم ٤٨) والمسافات (شكل رقم ٤٩) وحساب تغيرها من الزمن وذلك من بيانات القياسات المتكررة . ومن المعروف أن بيانات القياسات الجيوديسيه الأفقيه وبيانات القياسات الجيوديسيه الرأسيه (الميزانيه) يجرى تحليل كل منها على حده ويصعب الجمع بينهما فى تحليل مشترك ، إلا أنه يجرى إستخلاص النتائج من كل منها للوصول إلى تصور عام عن تحركات القشرة الأرضيه بمناطق الدراسه .

تحليل بيانات القياسات الرأسيه : لتعيين التحركات الرأسيه للقشرة الأرضيه يجرى تحليل بيانات قياسات خطوط وشبكات الميزانيه المتكررة . ويتم تحليل هذه البيانات إما على قطاعات أو خرائط . حيث توضح القطاعات تغير الارتفاعات على إمتدادها خلال مراحل تكرار القياسات . ويمثل الشكل



شكل رقم (٤٨) : مثال لحساب معدل تغير الإرتفاعات عند نقطة جيوديسية .



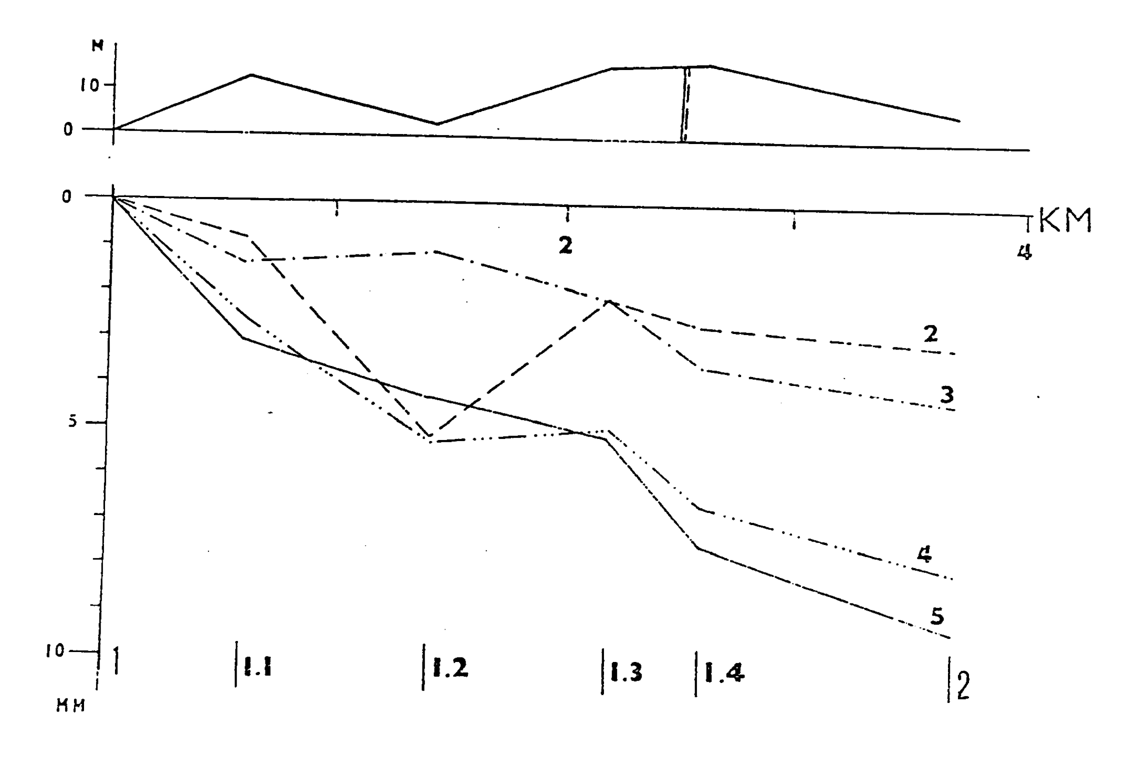
شكل رقم (٤٩) : مثال لحساب معدل تغير المسافة بين نقطتين جيوديستين .

رقم (٥٠) أحد هذه القطاعات . ويمكن إضافه البيانات الجيولوجيه المتاحه علـى إمتداد القطـاع لاعطـاء صورة واضحه عن هذه التحركات . وتستخدم هذه الطريقه من تمثيـل بيانـات القياسـات الرأسيه لتعيين الازاحات (التشوهات) الرأسيه التى تسبق حدوث الـزلازل ، والازاحـات المصاحبـه للحـدث للزلزالى ، والازاحات التاليه لحدوث الزلزال (المصاحبه لحدوث التوابـع) . ويجـرى إسـتخدام هـذا الاسـلوب فـى بعض المعاهد العلميه لدراسه التوقعات الزلزاليه .

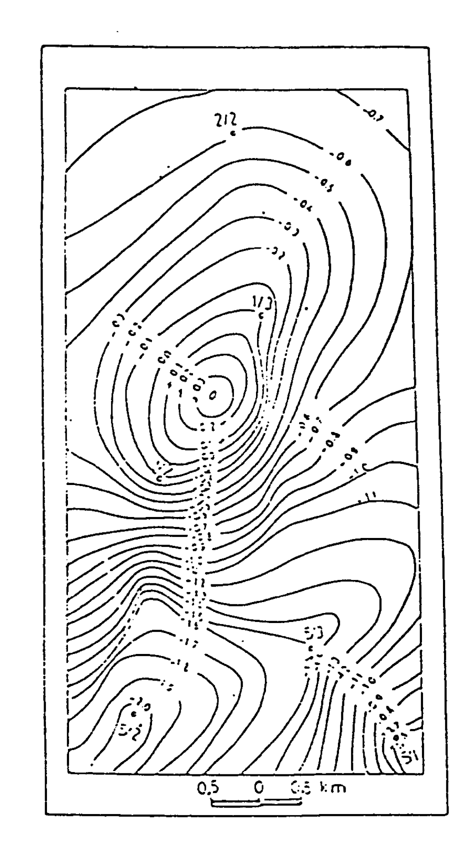
أما طرق تحليل بيانات القياسات الرأسيه المقاسه على الشبكات الجيوديسيه الرأسيه ، وطـرق تمثيل بياناتها فتشمل خرائط توضح معدل التحركات الرأسيه بمناطق الدراسه ويمثلها الشكل رقـم (٥١) وخرائط توضح التدرج الأفقى للتحركات الرأسيه ويمثلها الشكل رقـم (٥٢) . وتسـتخدم خرائـط التـدرج الأفقى للتحركات الرأسيه ميول أسطح القشرة وتمكن من التعرف على المواضع المحتمله لإمتداد الفوالق النشطه .

<u>تحليل بيانات القياسات الأفقيـه</u> : لتعييـن التحركـات الأفقيـه للقشـرة الأرضيـه يجـرى تحليـل بيانـات القياسات الجيوديسيه الأفقيه المتكررة (المسافات والزوايـا) للشبكات الجيوديسيه . ويتـم أولا تقويـم هـذه البيانات ونقل إحداثياتها إلى إحداثيات القياسات الأوليه ، وهنا تمثل فـروق القياسـات المتكـررة تحركـات القشرة الأرضيه بمناطق الدراسه . وتشمل طرق التحليل تعيين متجهات التحركات الأفقيه ويمثلها الشكل رقم (٥٣) وحساب تشوهات القشرة الأرضيه ويمثلها الشكل رقـم (٥٤) . ويمكـن تحليـل البيانـات أيضـا من حساب حركه القص على إمتداد أسطح الفوالق النشطه ويمثلها الشكل رقم (٥٥) .

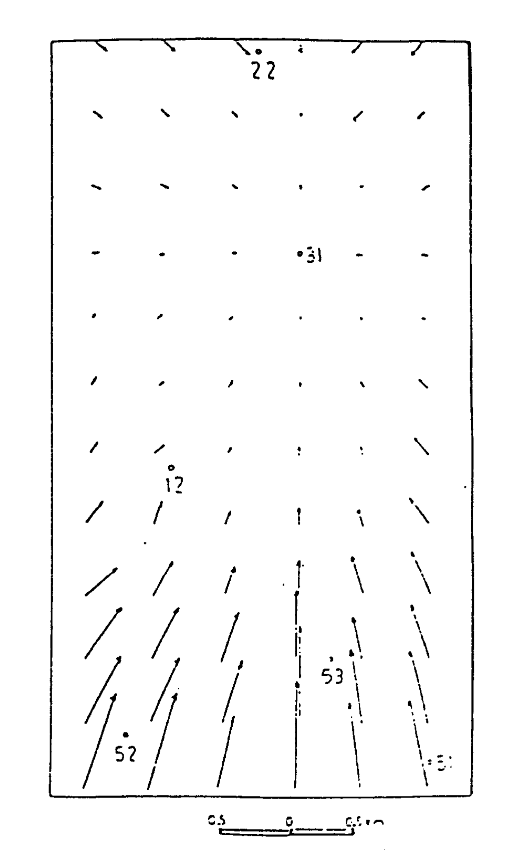
وطرق تحليل كل من بيانات القياسات الرأسيه والقياسات الأفقيه متـنوعه ومتعددة ومتباينه بيـن المدارس العلميه المختلفه المتخصصـه فـى هـذا النـوع مـن الدراسـات ، كمـا أن المجـال مـا زال متسـعا للاجتهاد فى هذا الفرع من العلم خاصه منها ما يجرى فى بعض المعاهد الدوليه من محاولات لاسـتخدام هذه البيانات فى دراسه التوقعات الزلزاليه .



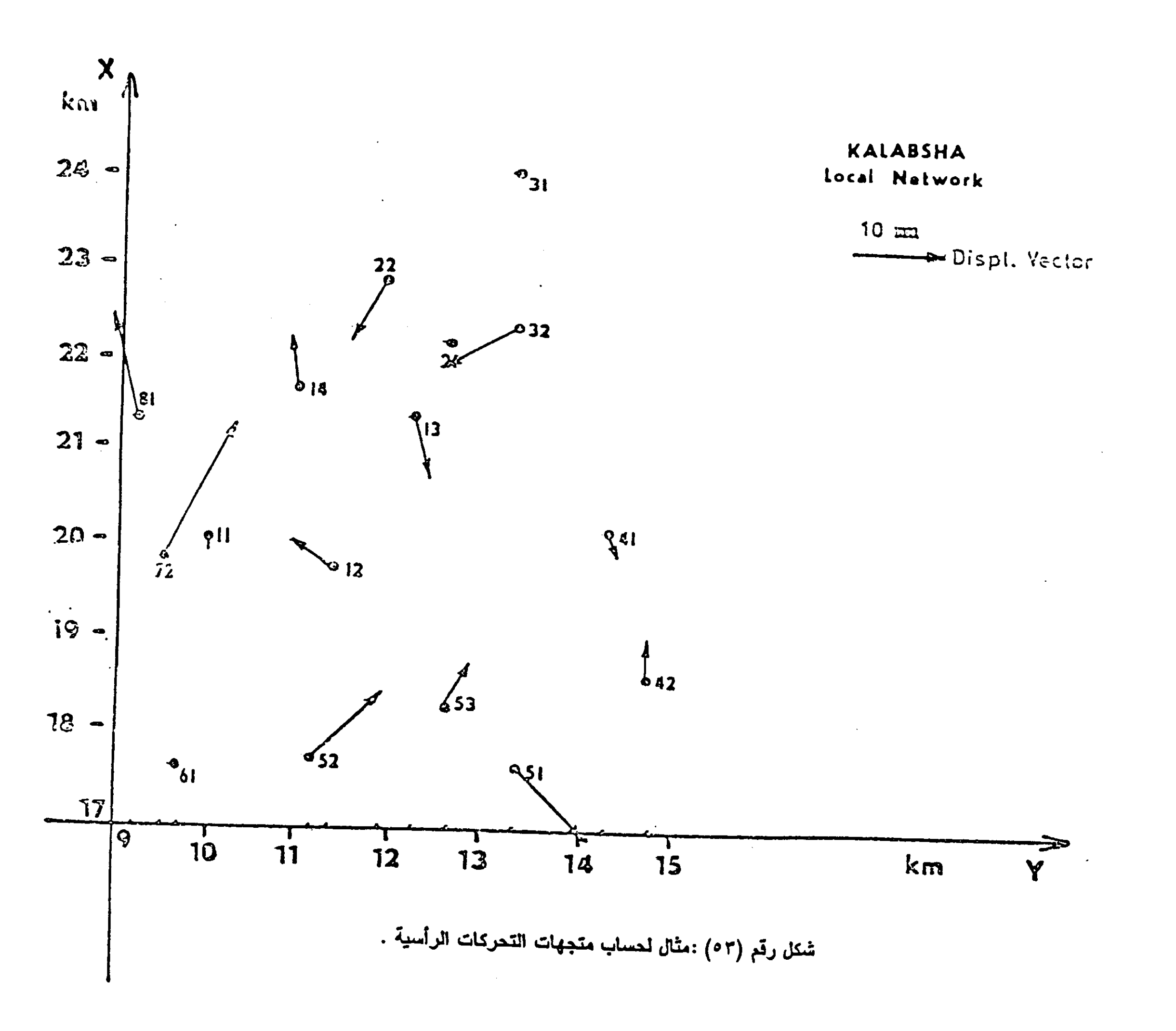
شكل رقم (٥٠) : مثال لحساب التغير فى الإرتفاعات على إمتداد خط ميزانية .



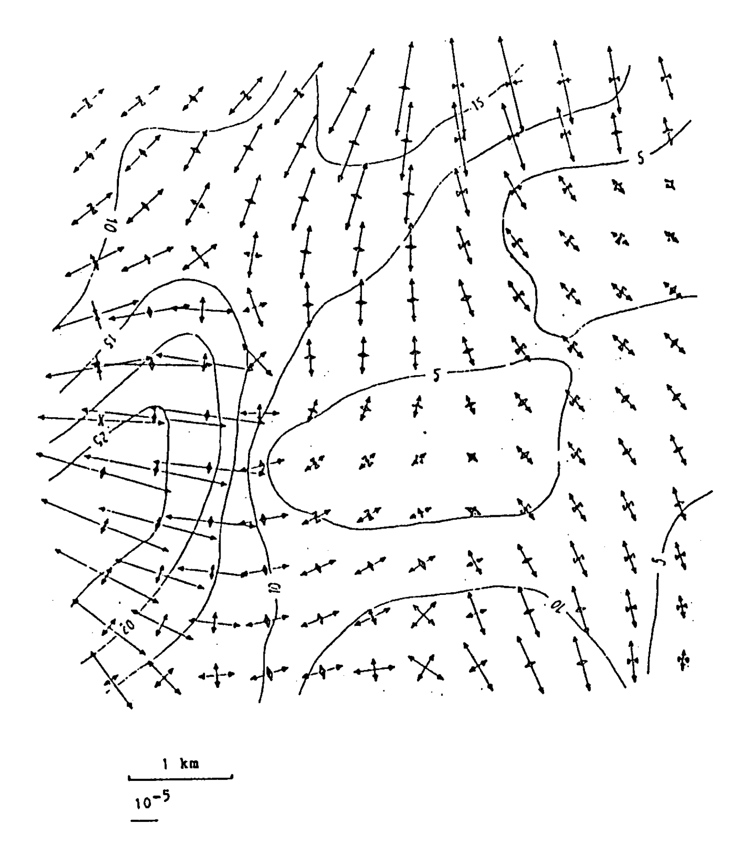
شكل رقم (٥١) : مثال لحساب معدل التحركات الرأسية .



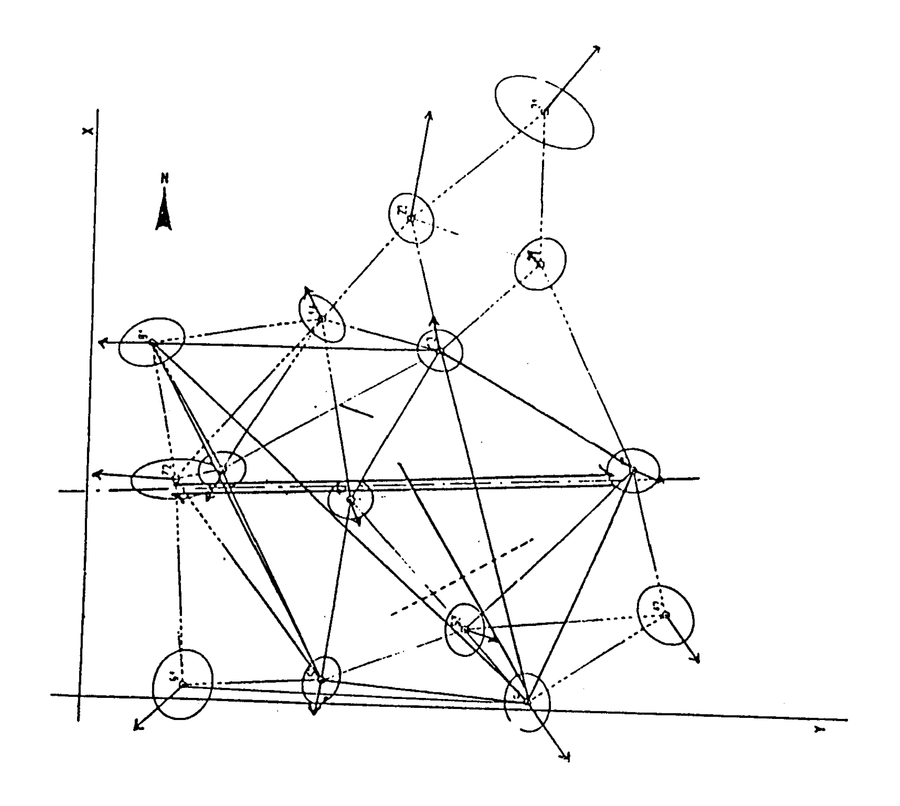
شكل رقم (٥٢) : مثال لحساب التدرج الأفقى للتحركات الرأسية .



شكل رقم (٥٣) :مثال لحساب متجهات التحركات الرأسية .



شكل رقم (٥٤) : مثال لحساب تشوهات القشرة الأرضية .



1 cm → vector of movement

10^{-5}

shear

extension

compression

1 km

شكل رقم (٥٥) : مثال لحساب الحركة الإزاحية على إمتداد سطح الفالق .

المؤلف

أ.د. على عبد العظيم تعيلب

أستاذ الجيوفيزياء وتحركات القشرة الأرضية
بالمعهد القومى للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية بحلوان

- بكالوريوس علوم (١٩٦٦) فى الطبيعة والجيولوجيا من كلية العلوم جامعة القاهرة .
- دبلوم الدراسات العليا فى الطبيعة الأرضية التطبيقية (١٩٦٧) من كلية العلوم جامعة القاهرة .
- ماجستير فى العلوم " جيوفيزياء تطبيقية " (١٩٧٣) من كلية العلوم جامعة القاهرة .
- دكتوراه فلسفه فى العلوم " طبيعة الأرض " (١٩٩٧) من معهد طبيعة الأرض - بوتسدام - المانيا .
- تدرج فى وظائف مساعد باحث (١٩٦٧) ، باحث مساعد (١٩٧٣) ، باحث (١٩٧٧) ، أستاذ باحث مساعد (١٩٨٢) وأستاذ باحث (١٩٨٧) بالمعهد .
- إنشاء دراسات الجيوديسيا والجاذبيه وتحركات القشره الأرضيه بالمعهد .
- ممثل مصر فى الرابطه الدوليه للجيوديسيا أحد روابط الأتحاد الدولى للطبيعه الأرضيه ومقاييس الأرض .
- عضو اللجنه الدوليه لتحركات القشرة الأرضية أحد لجان الرابطه الدولية للجيوديسيا .
- رئيس اللجنة الأفريقية لتحركات القشرة الأرضية أحد اللجان الفرعيه للجنة الدوليه لتحركات القشرة الأرضية .
- حصل على جائزة الدولة التشجيعية فى العلوم الجيولوجية عام ١٩٨٨ عن دورة فى إنشاء دراسات تحركات القشرة الأرضية وبحوثة فى مجالات الجيوفيزياء وتحركات القشرة الأرضية .
- حصل على شهادة وميدالية تقدير من المعهد (١٩٩٠) .
- حصل على شهادة تقدير من الجمعية الجيوفيزيقية المصرية (١٩٩٤) .
- حصل على نوط الإمتياز من الطبقة الأولى (١٩٩٥) .
- حصل على شهادة تقدير من المعهد (١٩٩٦) .




TOBGY
PRESS
TEL:3562364
شركة مطابع الطوبجى التجارية